資料7－3

電波利用環境委員会報告書（案）

抜粋【暫定版】

（第3章及び第5章）

注：本資料には、調整中の内容が含まれております。
また、記載内容については、作業班の議論や共用検討の結果等を受けて、修正等を行う予定です。

目次

第３章　WPT システムと他の無線機器等との周波数共用検討 1
3.1　共用検討の方法 1
⑴ はじめに 1
⑵ 共用検討対象システムの選定 1
⑶ 検討の進め方等 2
⑷ 与干渉レベル（放射妨害波）の目標値の設定 2
3.2　電波時計との共用検討 9
⑴ 電波時計の最小受信感度 9
⑵ 電波時計の許容干渉レベル 16
3.2.1　電気自動車用 WPT 17
3.2.2　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器） 22
3.3　列車無線等：信号保安設備との共用検討 29
⑴ 信号保安設備の概要 29
⑵ WPT 使用周波数域における信号保安設備の利用状況 29
⑶ 信号保安設備の耐妨害特性 30
3.3.1　電気自動車用 WPT 31
3.3.2　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器） 41
１．耐妨害特性が模擬ノイズ源である 1m×1m の 1 ターンループコイルに流れる妨害電流値で規定できるもの 41
２．耐妨害特性がレールに流れる妨害電流値で規定できるもの 43
3.3.3　家電機器用 WPT③ 44
3.4　列車無線等：誘導式列車無線との共用検討 47
⑴ 誘導式列車無線の概要 47
3.4.1　電気自動車用 WPT 47
3.4.2　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器） 56
3.5　アマチュア無線との共用検討 64
⑴　検討の進め方 66
3.5.1　電気自動車用 WPT 66
3.5.2　家電機器用 WPT①（モバイル機器） 67
3.5.3　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器） 67
3.5.4　家電機器用 WPT③（モバイル機器） 68
3.6　船舶無線との共用検討 70
3.6.1　家電機器用 WPT③（モバイル機器） 70
3.6.2　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器） 73
3.7　中波ラジオ放送との共用検討 75
3.7.1　共用検討の進め方 75
3.7.2　家電機器用 WPT③（モバイル機器） 75
3.7.3　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器） 78
3.7.4　電気自動車用 WPT 80
3.8　固定・移動無線との共用検討 81
3.8.1　家電機器用 WPT①（モバイル機器） 81
第５章　電波防護指針への適合性 84
5.1　電波防護指針等への適合確認について 84
5.1.1　対象 84
5.1.2　ワイヤレス電力伝送に対する電波防護指針の適用 84

5.1.3　その他留意事項 85
5.2　ワイヤレス電力伝送システムに適用すべき指針値 85
5.2.1　電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム 86
5.2.2 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム① 88
5.2.3 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム② 89
5.2.4 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③ 90
5.2.5 ワイヤレス電力伝送において適用すべき指針値のパターン 91
5.3　ワイヤレス電力伝送システムの適合性確認のための評価方法 95
5.3.1 電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム 95
5.3.2 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム① 96
5.3.3 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム② 97
5.3.4 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③ 97
5.4　安全装置のあり方 98
5.5　諸外国の現状 98
5.5.1 各国の規制について 98
5.5.2 ガイドライン 98
5.5.3 適合性評価方法 104
5.6 今後の課題 109
付録A　電界強度測定方法 110
付録B　磁界強度測定方法 111
付録C　接触電流測定方法 113
付録D　SAR, 電流密度評価方法 116

第３章　WPT システムと他の無線機器等との周波数共用検討

3.1　共用検討の方法

(1) はじめに

周波数共用検討を行う必要のある、他の無線機器等を選定するにあたり、本作業班で検討対象とした WPT システム（表 2.1-1 参照）の使用周波数が他の無線機器等が使用する周波数と重複（又は隣接）していることを基本とし、必要に応じ、WPT システムの高次高調波が他の無線機器等が使用する周波数と重複する場合についても検討を行った。

(2) 共用検討対象システムの選定

WPT の使用周波数、及びこれと重複する他の無線システム（以下「共用検討対象システム」という。）の周波数配置を図 3.1-1 に、これら共用検討対象システムの概要を表 3.1-1 にそれぞれ示す。

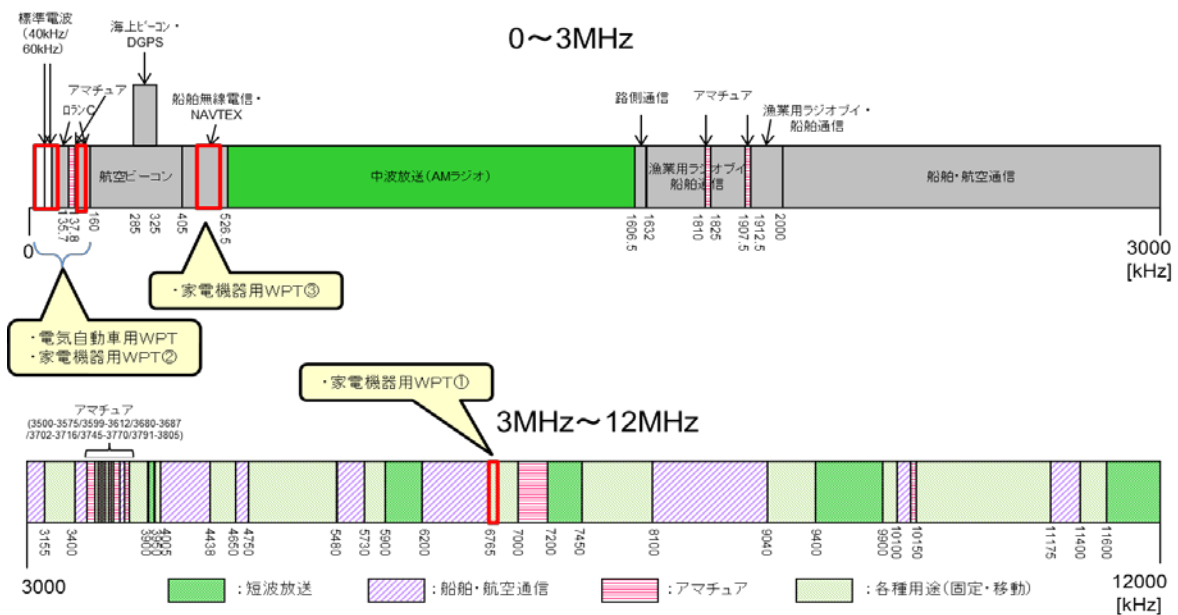



図 3.1-1　検討対象システムの周波数配置

システム名		概要	周波数帯	通信方式等
電波時計		標準電波送信所からの時刻データを定期的に受信して同期、時刻合わせをする時計	周波数帯:40kHz、60kHz 受信周波数帯幅:	
列車無線等	ATS	線路に設置したコイルへ電流を流し、その直上を通過する列車に設置したコイルに流れる電流を検知し、列車を停止するなどの制御を行う。	周波数帯:60～140kHz	
	誘導無線	鉄道敷地内の線路脇などに設置した伝送線路と、鉄道車両内に設置したアンテナ間を誘導結合し、信号を伝送するシステム。	周波数帯:100～250kHz 80kHz(1 局) 92kHz(1 局)	
アマチュア無線		アマチュア無線技士が自己の技術研究や訓練等を目的に利用する無線システム	周波数帯:135.7～135.8kHz 472～479kHz　など	振幅変調、周波数変調、SSB など
船舶無線		船舶の航行安全のための無線システムであり、港湾付近や海上において利用される。	周波数帯:90～110kHz(ロラン) 424kHz,490kHz,518kHz(NAVTEX) 495～505kHz(NAVDAT)	パルス、FSK など
中波帯ラジオ		中波帯を利用した音声放送受信システム	周波数帯:526.5～1605.5kHz	振幅変調

表 3.1-1　共用検討対象システムの概要

(3) 検討の進め方等

以下に、本検討で共通の考え方、進め方等を示す。なお、個々の共用検討対象システムは、それぞれ独自の特徴を有しており、利用シーンや運用条件が異なっているため、具体的な検討方法は、それぞれの検討の中で規定する。

・共用検討対象システムの事業者とブロードバンドワイヤレスフォーラム（BWF）との間で周波数共用検討に関する情報交換会を設置して検討を行った。
・検討の組み合わせは、同一帯域又は隣接帯域のシステムどうしを基本とした。ただし、必要に応じて WPT の高調波による帯域内干渉も検討した。
・WPT システムからの与干渉レベルの値は、(4)に示す「目標値」を用いた。
・被干渉システムの許容干渉レベルを設定し、所要離隔距離を導出した。ただし、許容干渉レベルの規定が困難な場合は、この限りでない。
・各 WPT システムの利用シーン等を考慮し、干渉緩和の方策を検討して所要離隔距離の改善を図った。
・干渉緩和の方策の一つとして、WPT システムの実験データも参考にした。
・以上の結果を受けて周波数共用の可能性を判断した。ただし、必要に応じて、所要離隔距離に拠らない運用上の条件を付加した共用可能性の判断も可能とした。

(4) 与干渉レベル（放射妨害波）の目標値の設定

目標値の設定に際し、以下の点を考慮した。

①放射妨害波のうち、9kHz～30MHz についてのみ目標値を電界強度と磁界強度の両方で設定した。

②参考とする電波法令等が電界強度で規定されていることから、許容値の目標値の設定に際し、最初に電界強度において目標値を設定した。磁界強度については電界強度の目標値から単純に換算している（換算係数は 120π（Ω））。

③30MHz 以上の放射妨害波及び伝導性妨害波の目標値については明示していないが、これらについては CISPR の関連規格が参照できる。
・電気自動車用 WPT　⇒CISPR11
・家電機器用 WPT⇒WPT が搭載される製品に応じ CISPR14-1 又は CISPR22

以下に、対象とする WPT システム毎に設定した目標値の考え方を、またこれらを図示したものを図 3.1-2～図 3.1-11 に示す。

ア　電気自動車用 WPT

WPT の基本周波数における目標値は、FCC Part18 Sub part C および開発・試作装置の測定結果を参考にして設定した。また、基本周波数以外の高周波放射妨害波の目標値については、現行電波法における電磁誘導加熱式調理器の規定（電波法施行規則第 46 条の 7）を参考にして決めている。具体的な目標値は以下の通りである。

A　放射妨害波の電界強度

(a) 利用周波数において
3kW（家庭用 WPT）　:　36.7mV/m@30m（ 91.3dBμV/m@30m ）
7.7kW（公共用 WPT）　:　58.9mV/m@30m（ 95.4dBμV/m@30m ）

(b) 526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において
:　30μV/m@30m（ 29.5dBμV/m@30m ）

(c) 上記以外　:　200μV/m@30m（ 46.0dBμV/m@30m ）

B　放射妨害波の磁界強度

(a) 利用周波数において
3kW（家庭用WPT）　：　97.5μA/m@30m（ 39.8dBμA/m@30m ）
7.7kW（公共用WPT）　：　156　μA/m@30m（ 43.9dBμA/m@30m ）
(b) 526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において
：　0.0796μA/m@30m（ -22.0dBμA/m@30m ）
(c) 上記以外　：　0.531　μA/m@30m（ -5.51dBμA/m@30m ）

イ　家電機器用WPT①

WPTの基本周波数における目標値は、開発・試作装置の測定結果を参考にして設定した。また、基本周波数以外の高周波放射妨害波の目標値については、現行電波法における電磁誘導加熱式調理器の規定（電波法施行規則第46条の7）を参考にして決めている。具体的な目標値は以下の通りである。

A　放射妨害波の電界強度
(a) 利用周波数において　：　100mV/m@30m（ 100dBμV/m@30m ）
(b) 526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において
：　30μV/m@30m（ 29.5dBμV/m@30m ）
(c) 上記以外　：　100μV/m@30m（ 40.0dBμV/m@30m ）

B　放射妨害波の磁界強度
(a) 利用周波数において：　265.3μA/m@30m（ 48.5dBμA/m@30m ）
(b) 526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において
：　0.0796μA/m@30m（ -22.0dBμA/m@30m ）
(c) 上記以外　：　0.265　μA/m@30m（ -11.5dBμA/m@30m ）

ウ　家電機器用WPT②

WPTの基本周波数における目標値は、開発・試作装置の測定結果を参考にして設定した。また、基本周波数以外の高周波放射妨害波の目標値については、現行電波法における電磁誘導加熱式調理器の規定（電波法施行規則第46条の7）を参考にして決めている。具体的な目標値は以下の通りである。

A　放射妨害波の電界強度
(a) 利用周波数において　：　1mV/m@30m（ 60dBμV/m@30m ）
(b) 526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において
：　30μV/m@30m（ 29.5dBμV/m@30m ）
(c) 上記以外　：　173μV/m@30m（ 44.8dBμV/m@30m ）

B　放射妨害波の磁界強度
(a) 利用周波数において　：　2.66μA/m@30m（ 8.5dBμA/m@30m ）
(b) 526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において
：　0.0796μA/m@30m（ -22.0dBμA/m@30m ）
(c) 上記以外　：　0.495　μA/m@30m（ -6.7dBμA/m@30m ）

エ　家電機器用WPT③

WPTの基本周波数における目標値は、開発・試作装置の測定結果を参考にして設定した。また、基本周波数以外の高周波放射妨害波の目標値については、現行電波法における電磁誘導加熱式調理器の規定（電波法施行規則第46条の7）を参考にして決めている。具体的な目標値は以下の通りである。

Ａ　放射妨害波の電界強度

(a)　利用周波数において　　　　：　100μV/m@30m（ 40dBμV/m@30m ）

(b)　526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において

：　30μV/m@30m（ 29.5dBμV/m@30m ）

(c)　上記以外　　　　　：　100μV/m@30m（ 40dBμV/m@30m ）

Ｂ　放射妨害波の磁界強度

(a)　利用周波数において　　　　：　0.266μA/m@30m（ -11.5dBμA/m@30m ）

(b)　526.5kHz から 1606.5kHz までの周波数において

：　0.0796μA/m@30m（ -22.0dBμA/m@30m ）

(c)　上記以外　　　　　：　0.266μA/m@30m（ -11.5dBμA/m@30m ）

図 3.1-2　電気自動車用 WPT(家庭用 WPT)の漏えい電界強度Ⅰ

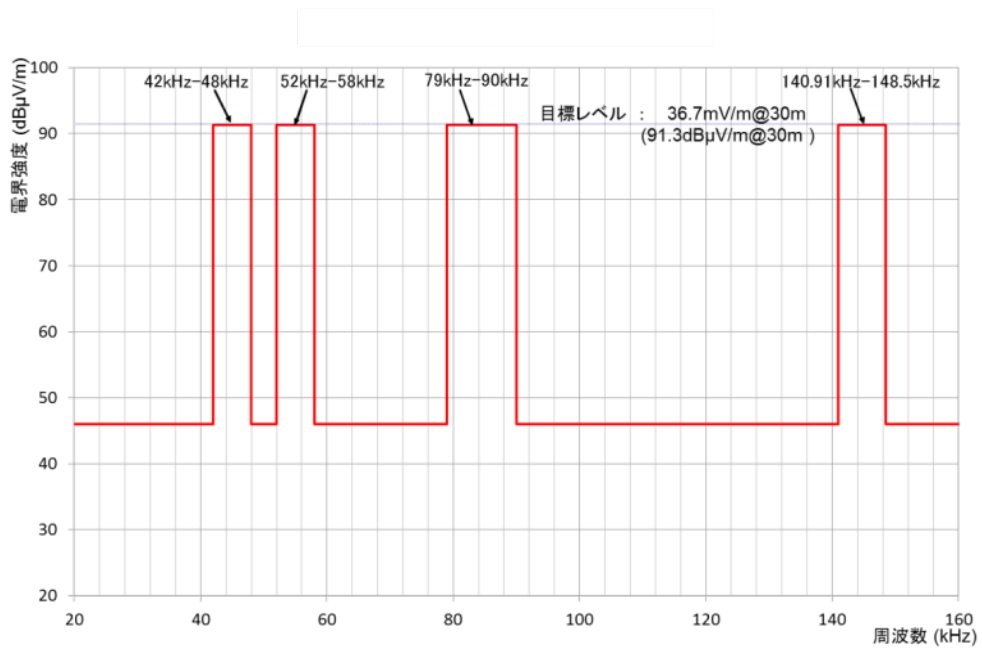



図 3.1-3　電気自動車用 WPT(家庭用 WPT)の漏えい電界強度Ⅱ

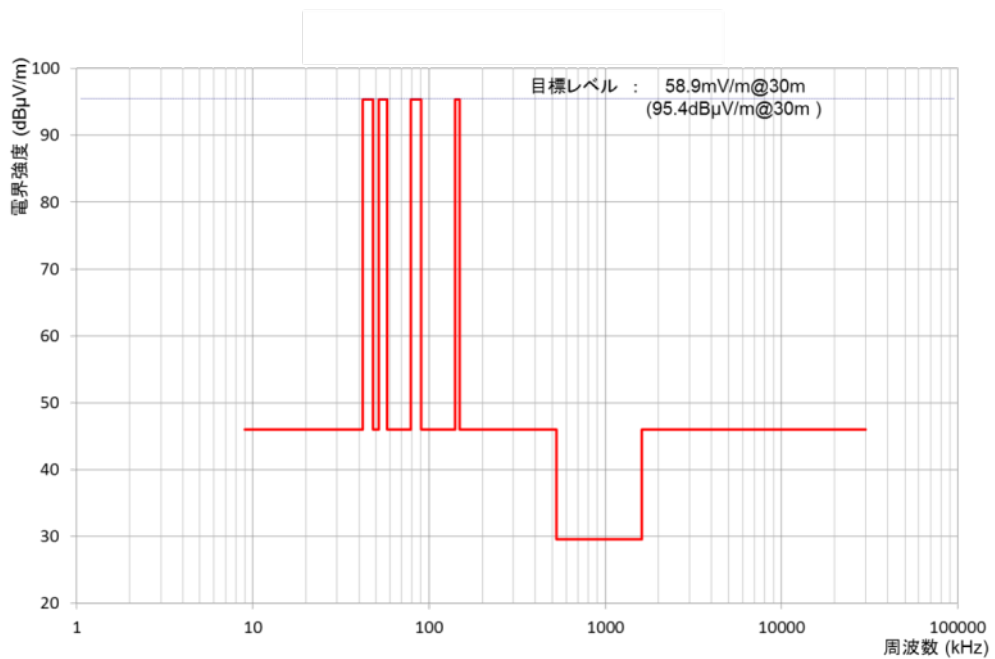



図 3.1-4　電気自動車用 WPT(公共用 WPT)の漏えい電界強度Ⅰ

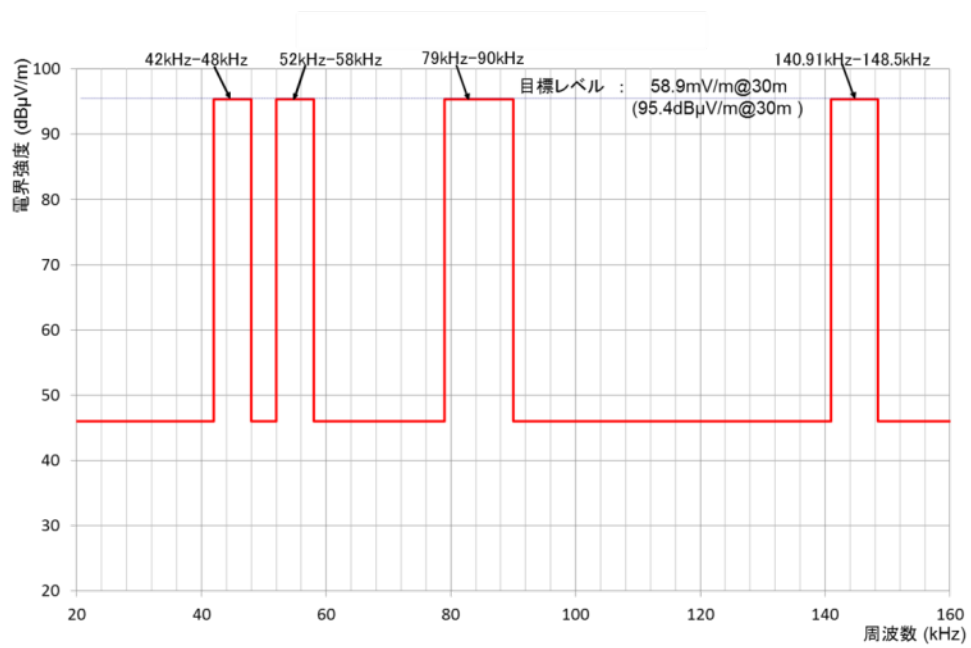



図 3.1-5　電気自動車用 WPT(公共用 WPT)の漏えい電界強度Ⅱ

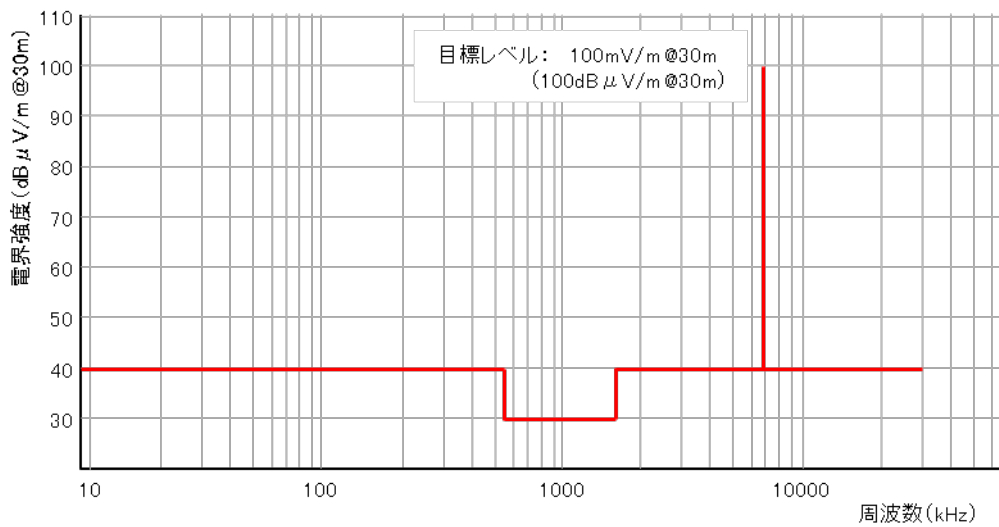



図 3.1-6　家電機器用 WPT①の漏えい電界強度Ⅰ

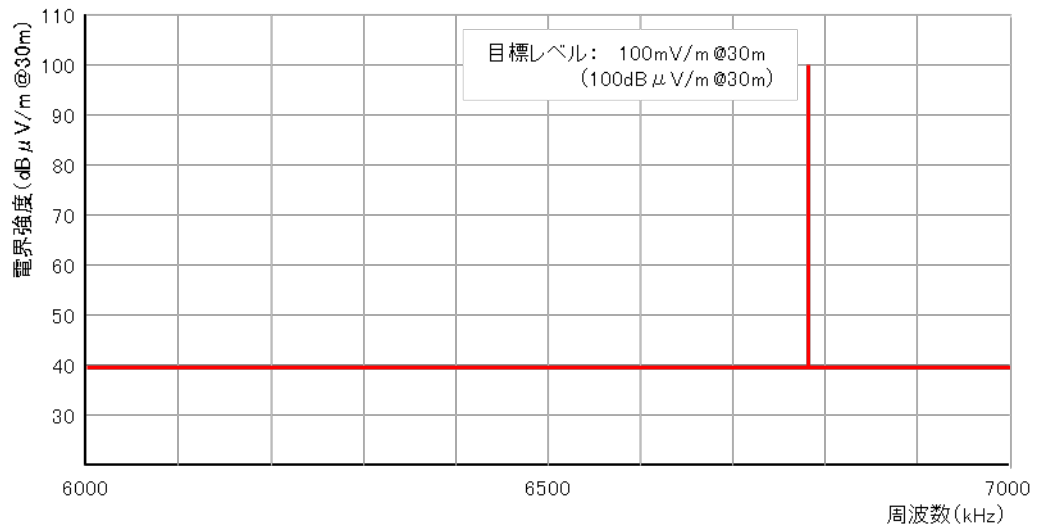



図 3.1-7　家電機器用 WPT①の漏えい電界強度Ⅱ

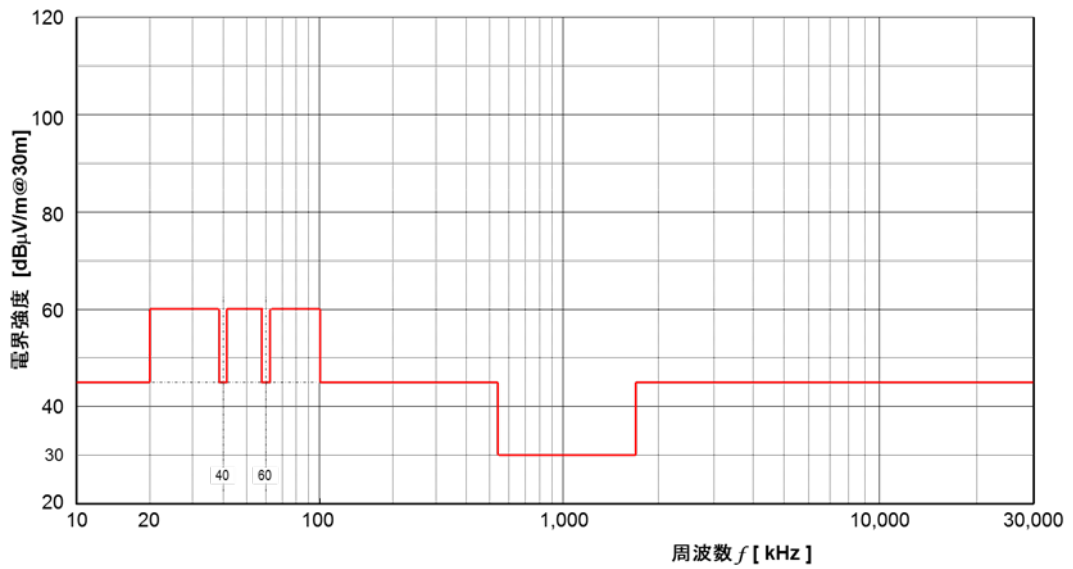



図 3.1-8　家電機器用 WPT②の漏えい電界強度Ⅰ

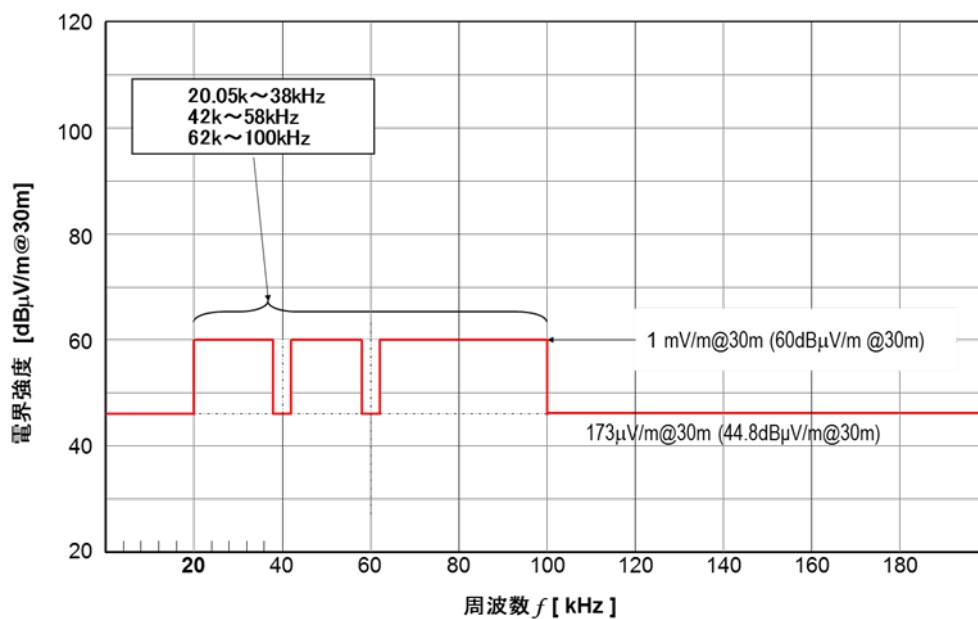



図 3.1-9　家電機器用 WPT②の漏えい電界強度Ⅱ

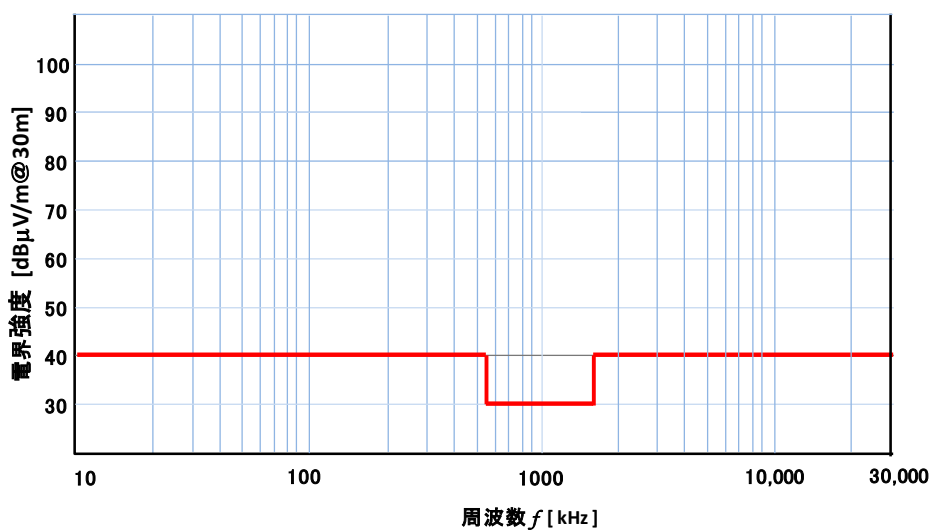



図 3.1-10　家電機器用 WPT③の漏えい電界強度Ⅰ

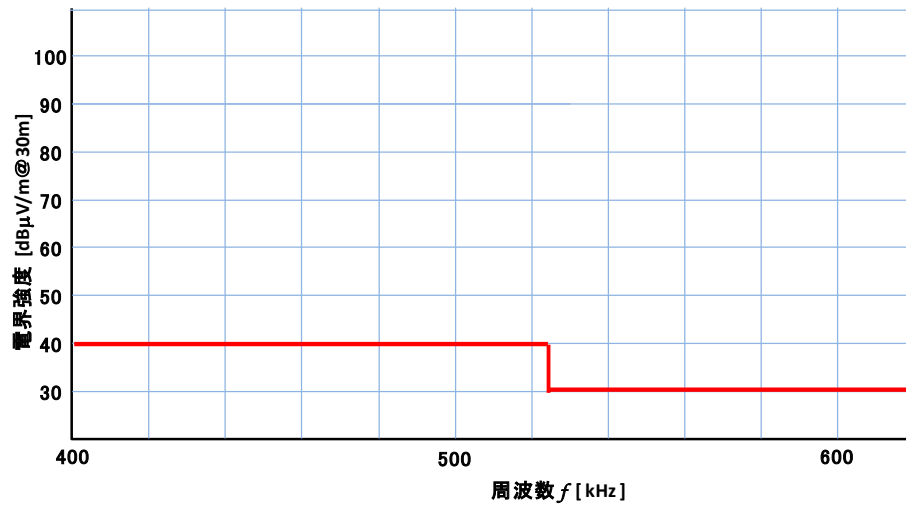



図 3.1-11　家電機器用 WPT③の漏えい電界強度Ⅱ

3.2　電波時計との共用検討

電波時計との周波数共用検討は、一般社団法人日本時計協会（以下「時計協会」という。）と BWF との間に情報交換会を設置して行った。検討対象となる WPT システムは、電気自動車用 WPT 及び家電機器用 WPT②である。

まず、共用検討の前提となる電波時計の受信性能を決める最小受信感度について調査し、次いで、電波時計の干渉耐性の調査を行った。

(1) 電波時計の最小受信感度

電波時計の最小受信感度は 50dBμV/m を基本とするが、標準電波の受信電界強度の分布の実態も考慮した。

標準電波の送信は独立行政法人情報通信研究機構（以下「NICT」という。）によって管理されており、NICT が公開している標準電波の日本の主要都市の受信電界強度のシミュレーション値を用いて、受信電界強度の分布の実態を調査した。ただし、標準電波からの受信電界強度については、受信環境によって変動し、時刻、受信場所等が同一であっても常に同一の値が保証されるという性質のものではないため、本調査については大まかな傾向を示すものという位置付けとなる。

図 3.2-1 に示すとおり、標準電波は、おおたかどや山標準電波送信所（40kHz：福島県）と、はがね山標準電波送信所（60kHz：佐賀県）の 2 局からの送信で日本全土をカ

バーしている。

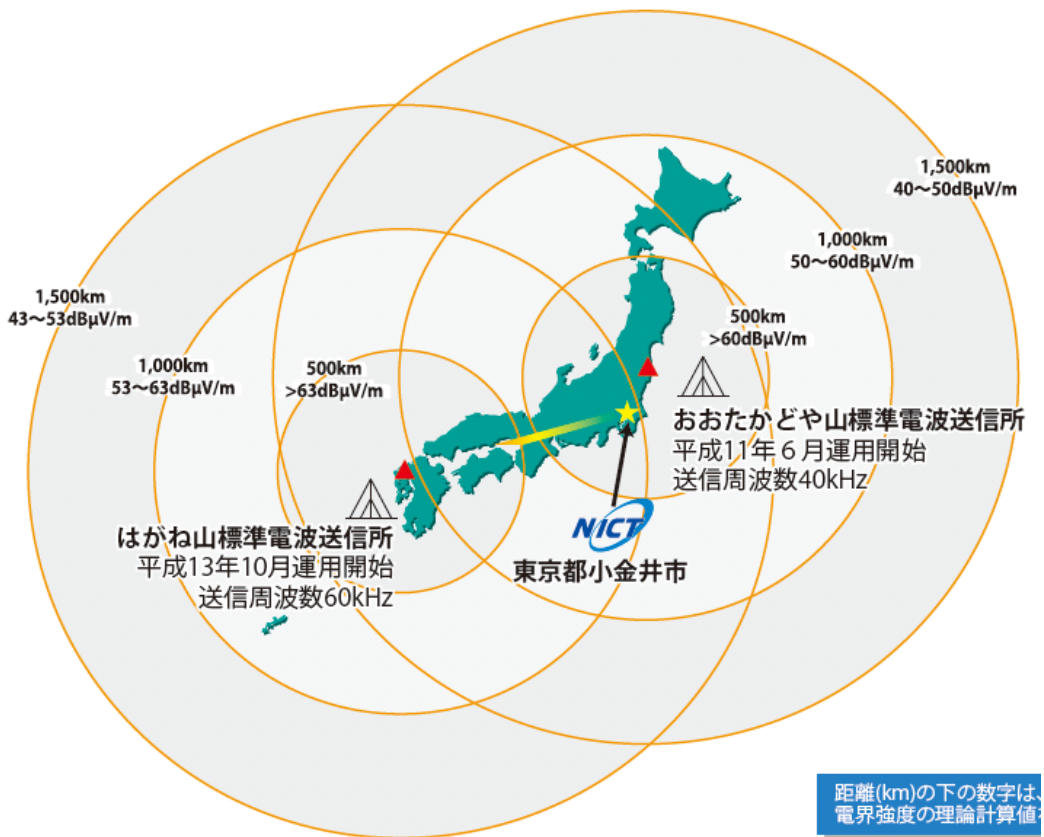



図 3.2-1 標準電波送信所受信エリア

図 3.2-2 及び図 3.2-3 に、標準電波の電界強度（冬期の例）を示す。おおたかどや山標準電波送信所は、比較的日本国土の中央に位置するため、離島を除いて受信電界強度が日本全土に平均的に分布していることが分かる。

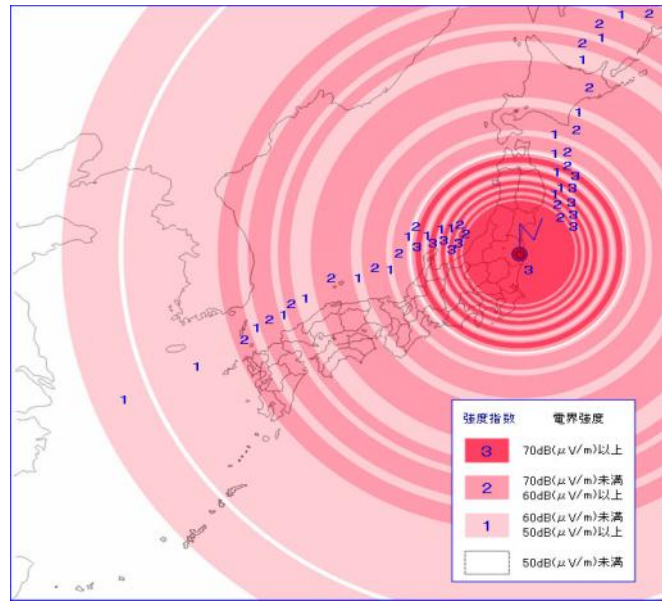



図 3.2-2 おおたかどや山標準電波送信所

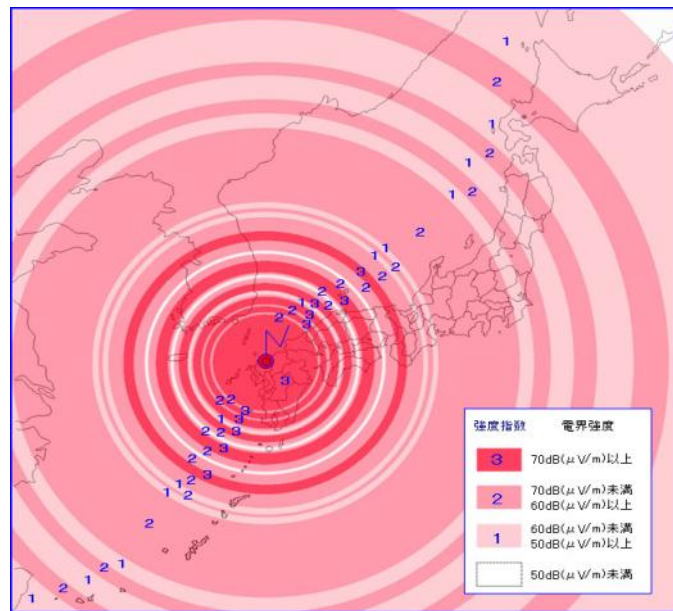



図 3.2-3　はがね山標準電波送信所

受信電界強度の全国的な分布を調査するため、図 3.2-4 に示すようにそれぞれの送信所から最も遠い稚内市及び石垣市並びに双方からの中間地点にある神戸市の 3 箇所を対象に調査を行った。

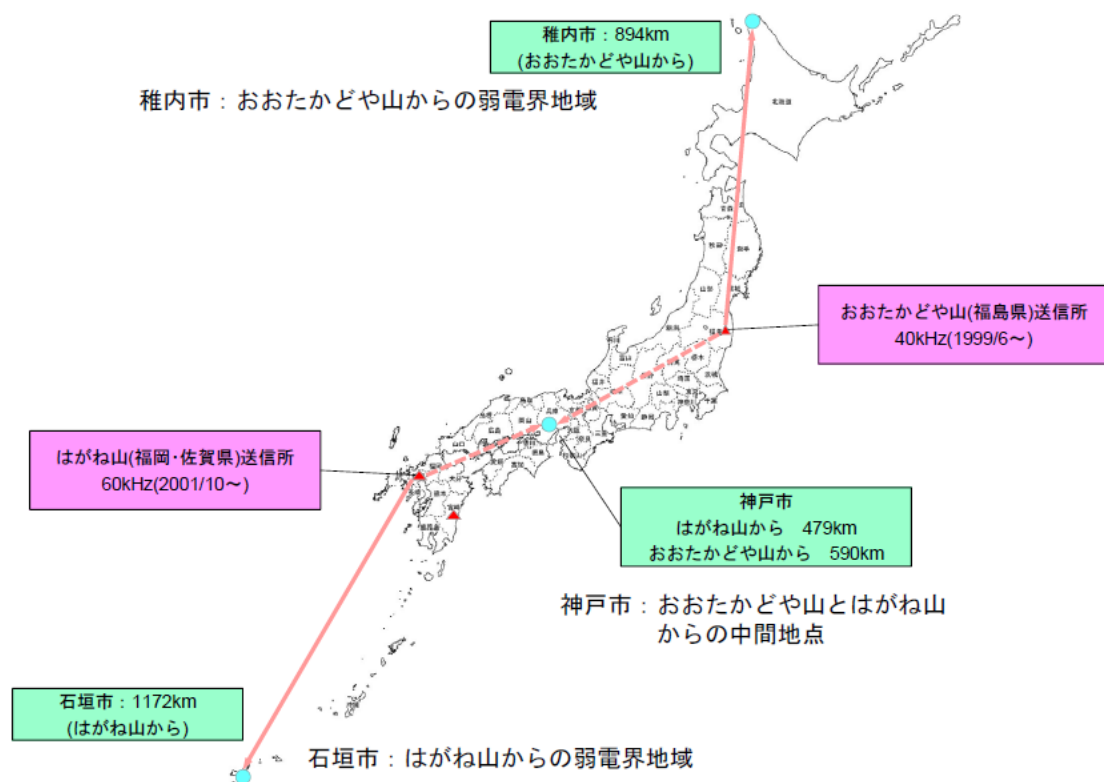



図 3.2-4 標準電波の電界強度調査地点

標準電波の伝搬特性に影響を与える太陽の黒点活動周期（約 11 年）を考慮して、NICT が公開している 2004 年から 2014 年の 11 年間の受信電界強度データを対象に、以下の調査を行った。

・おおたかどや山送信所のサービスエリア（送信所から 50 dBμV/m 以上の電界強度で標準電波を受信できる範囲をいう。）内で最も遠方の稚内市において、電波時計の自動受信が良く行われる時間帯の午前 2 時～5 時（以下「ゴールデンタイム」という。）の受信電界強度を調査した。
・はがね山送信所のサービスエリア内で最も遠方の石垣市におけるゴールデンタイムの受信電界強度を調査した。
・両方の送信所からの受信が可能な中間地域のエリアにおけるゴールデンタイムの受信電界強度を調査した。

図 3.2-5～図 3.2-7 は、おおたかどや山標準電波（40kHz）の稚内市における受信電界強度を調査した結果である。全時間帯において 50dBμV/m 以上の電界強度が確保できていることが分かる。

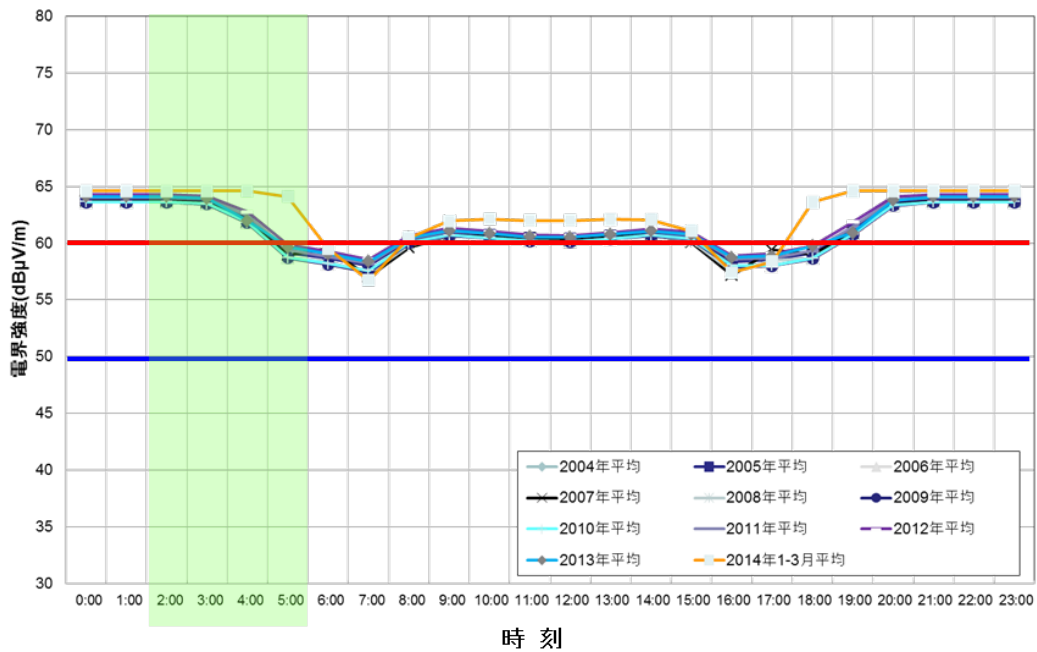



図 3.2-5　各時刻における電界強度（年平均値）
送信所：おおたかどや山（40kHz）　受信場所：稚内市

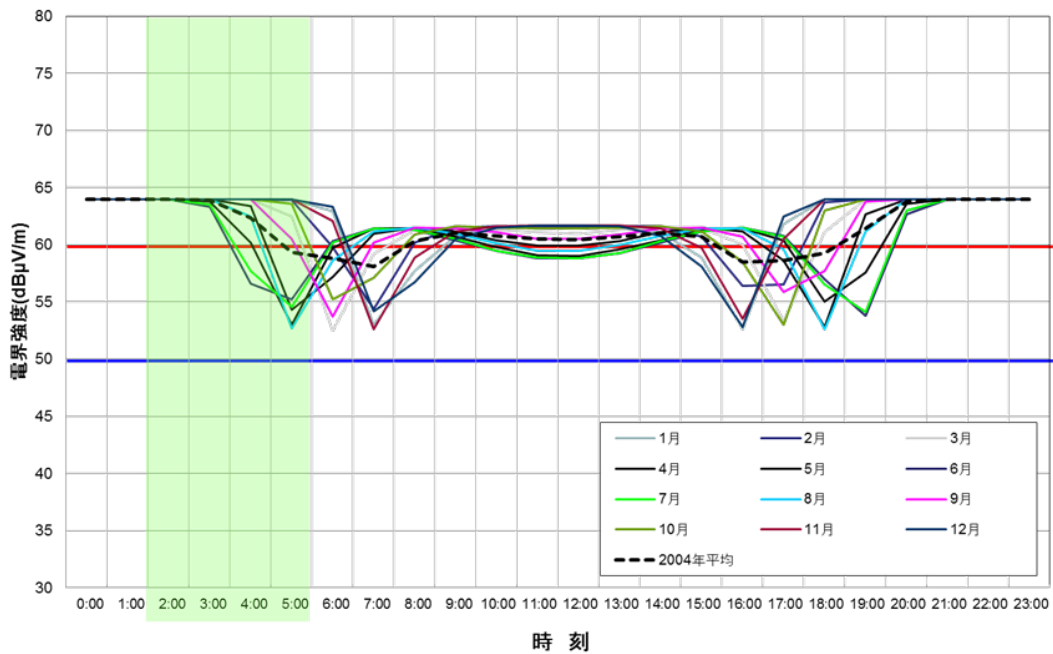



図 3.2-6　各時刻における電界強度（2004 年月平均値）
送信所：おおたかどや山（40kHz）　受信場所：稚内市

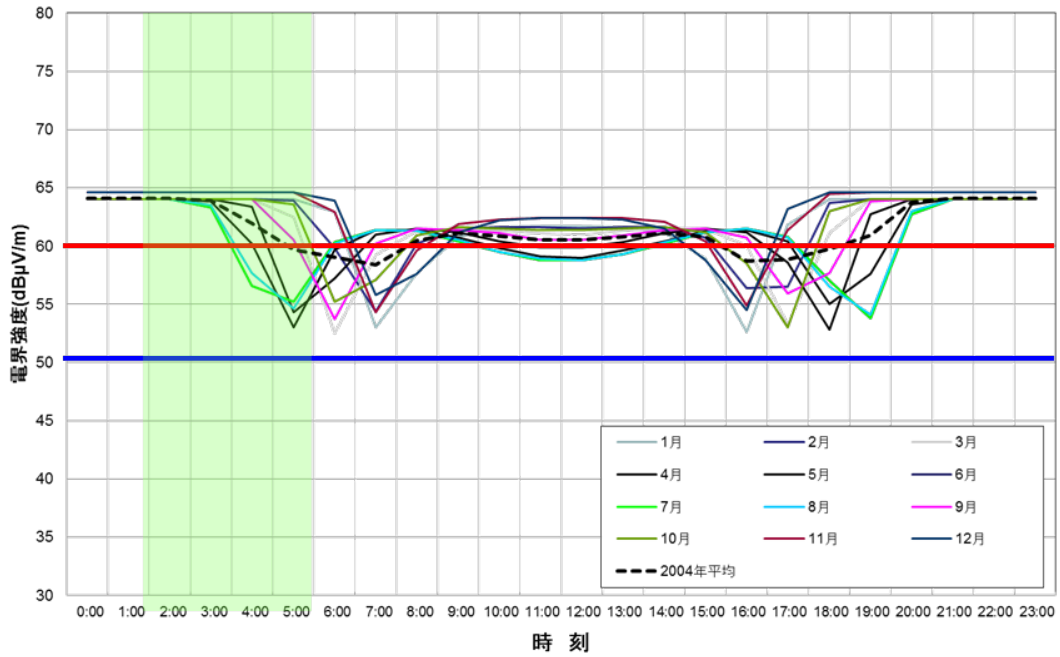



図 3.2-7　各時刻における電界強度（2013 年月平均値）
送信所：おおたかどや山（40kHz）　受信場所：稚内市

図 3.2-8～図 3.2-10 は、はがね山標準電波（60kHz）の石垣市における受信電界強度を調査した結果である。ゴールデンタイムでは、ほぼ 60dBμV/m 以上の受信電界強度が確保できている。

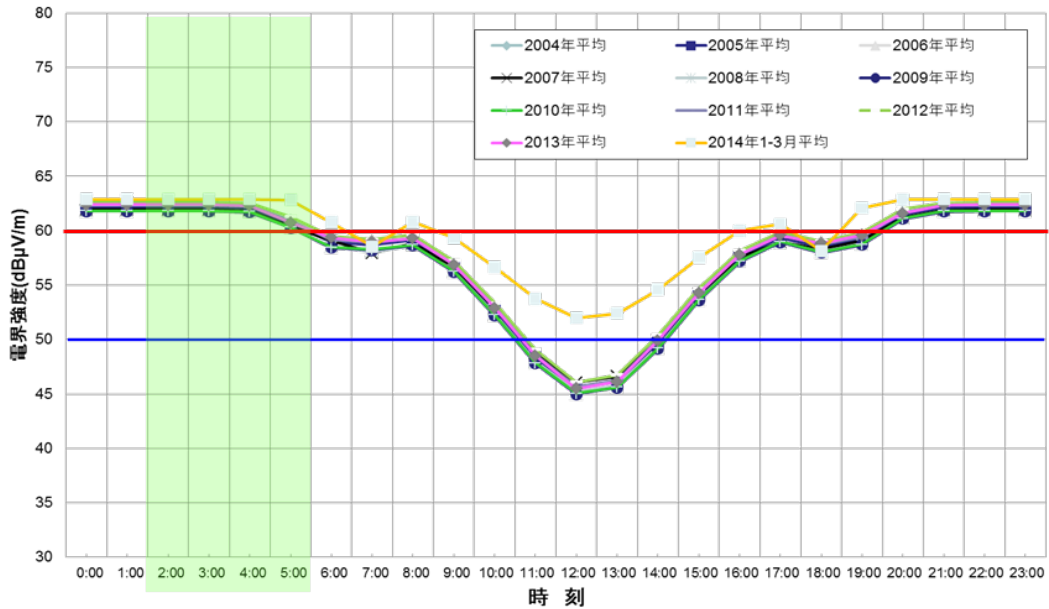



図 3.2-8　各時刻における電界強度（年平均値）
送信所：はがね山（60kHz）　受信場所：石垣市

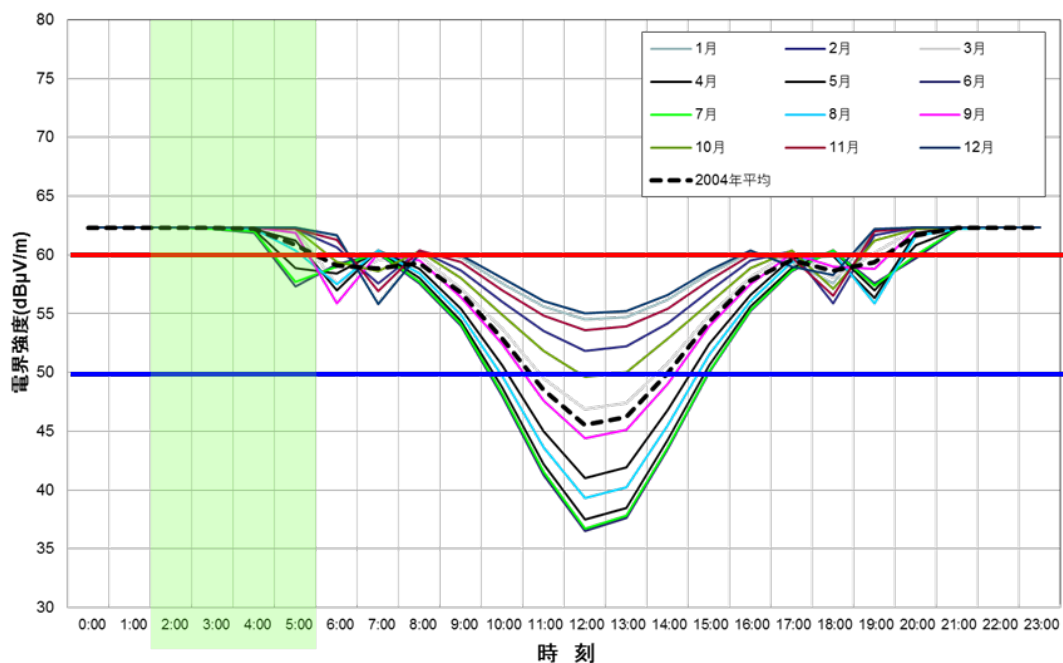



図 3.2-9　各時刻における電界強度（2004 年月平均値）
送信所：はがね山（60kHz）　受信場所：石垣市

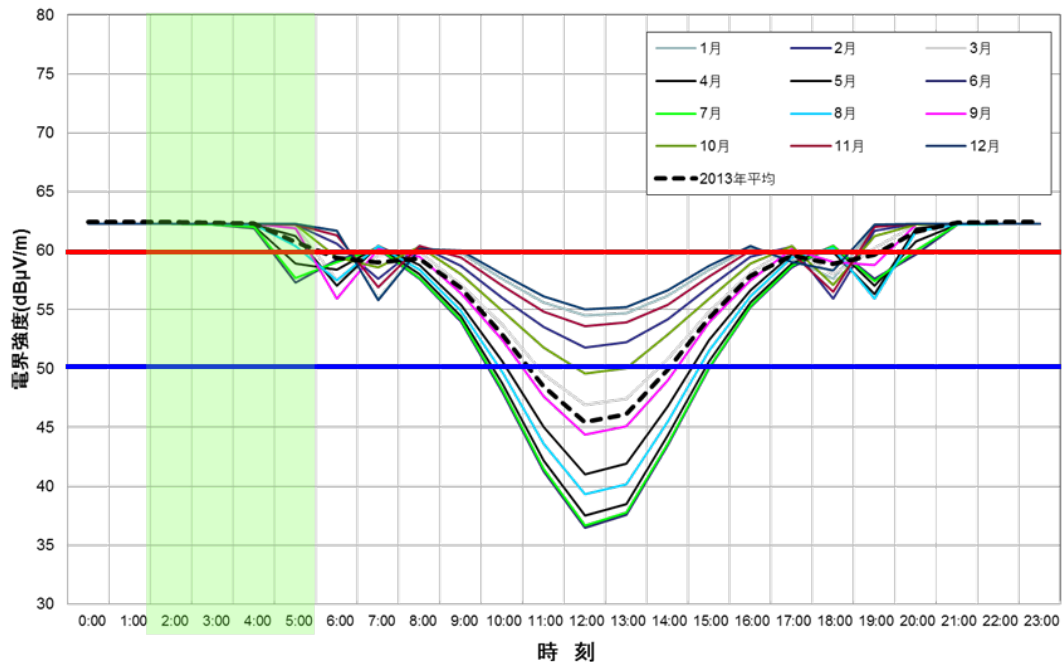



図 3.2-10　各時刻における電界強度（2013 年月平均値）
送信所：はがね山（60kHz）　受信場所：石垣市

以上の結果として、おおたかどや山（福島県：40kHz）標準電波送信所のサービスエ

リア内での受信電界強度は、50dBμV/m 以上を確保できている。また、おおたかどや山標準電波送信所のサービスエリア外となる最も遠方の石垣市については、はがね山（60kHz）標準電波送信所からの標準電波の受信電界強度がゴールデンタイム（午前 2 時～5 時）に、概ね 60dBμV/m を確保できている。さらに、神戸市のような両方の送信所からの同等の受信が可能な場所におけるゴールデンタイムの受信電界強度は、いずれかの送信所からの標準電波の受信電界強度が 50dBμV/m 以上を確保できている。

受信電界強度は常に変化しており、また、これらは特定の位置におけるシミュレーションに基づくものであり対象地域全ての電界強度値を担保するものではないが、受信電界強度の水準や変化傾向を判断する上で十分に信頼性の高いデータであると評価できる。よって、調査結果に基づき、おおたかどや山標準電波送信所からの標準電波の最小受信電界強度を 50dBμV/m、はがね山標準電波送信所からの標準電波の最小受信電界強度を 60dBμV/m として、干渉検討をすることが妥当であると判断した。

(2) 電波時計の許容干渉レベル

電波時計の標準的な受信システムを図 3.2-11 に示す。電波時計の受信システムにおいて、主に許容干渉レベルを決定するのは共振回路を使用するアンテナと、フィルタ回路である。アンテナの Q 値を大きくとることはデザイン制約もあり難しい。フィルタ回路は一般的には水晶フィルタで構成され各社大きな差はない。クロックとウオッチではクロックのほうがアンテナの性能を得やすいので許容干渉レベルの性能は良い。

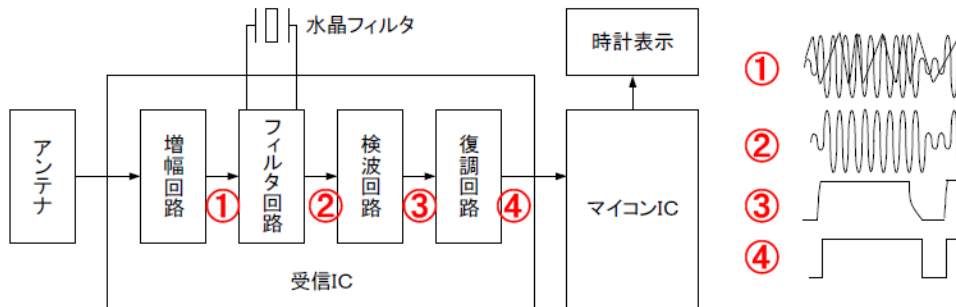



図 3.2-11　電波時計の標準的な受信システム

電波時計の許容干渉レベルを図 3.2-12～図 3.2-14 に示す。

希望波を 50dBμV/m とした場合、電波時計製造メーカの代表的な製品の耐妨害波の測定値から近似して作成した。図 3.2-12 は電気自動車用 WPT の公共用 WPT 漏洩電界を 10m に換算し電波時計の許容干渉レベルを重ねたもので、図 3.2-13 は電気自動車用 WPT の家庭用 WPT 漏洩電界を 10m に換算し電波時計の許容干渉レベルを重ねたものである。図 3.2-14 は家電機器の WPT 漏洩電界を 10m に換算し電波時計の許容干渉レベルを重ねたものである。図の各周波数で電波時計の許容干渉レベル以上の WPT 漏洩電界が入力されると、電波時計は受信できないと予想される。

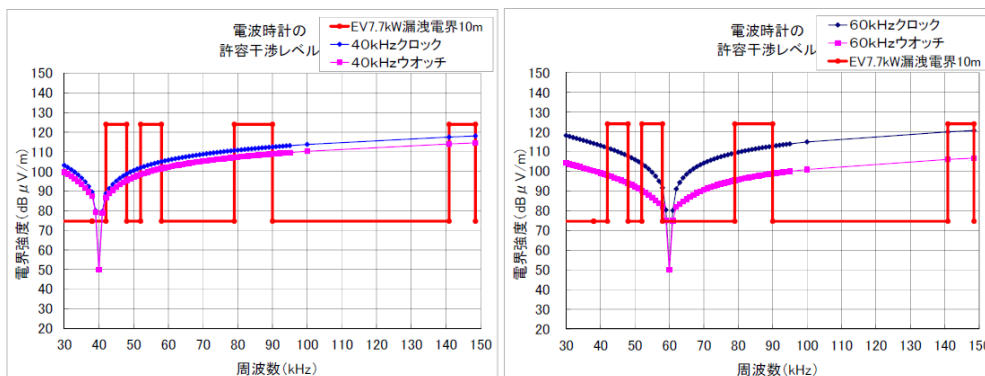



図 3.2-12　電波時計の許容干渉レベルと公共用の電気自動車用 WPT による目標漏えい電界強度との関係

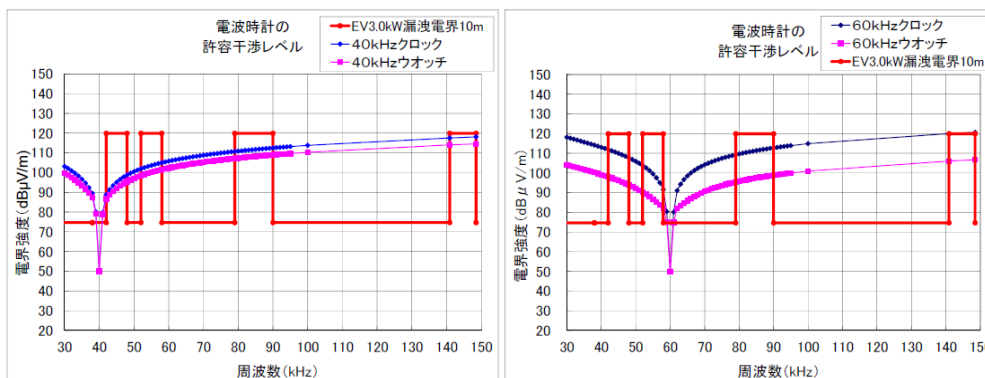



図 3.2-13　電波時計の許容干渉レベルと家庭用の電気自動車用 WPT による目標漏えい電界強度との関係

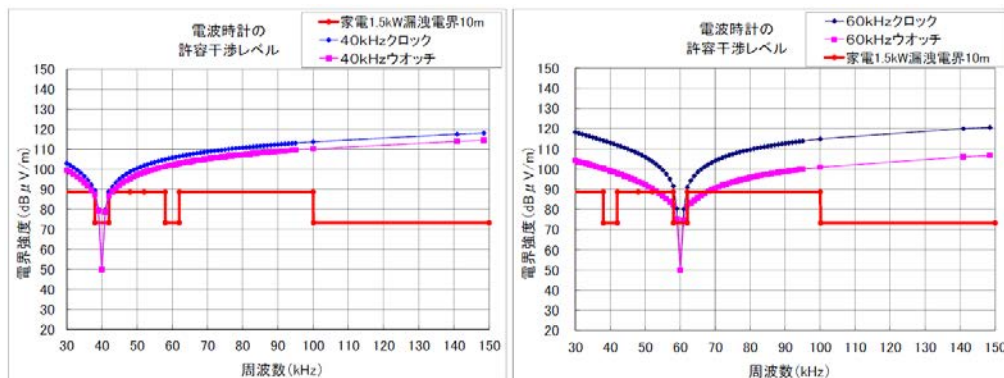



図 3.2-14　電波時計の許容干渉レベルと家電機器用 WPT②(家庭・オフィス機器)による目標漏えい電界強度との関係

3.2.1　電気自動車用 WPT

(1)　検討の進め方

電波時計との周波数共用検討の進め方は、以下のとおり。

・電波時計の最小受信感度は、3.2(1)での検討結果を踏まえ、おおたかどや山標準電波送信所からの 50dBμV/m か、はがね山標準電波送信所からの 60dBμV/m のいずれかが確保されているものとした。

・電波時計の許容干渉レベルは、時計協会から提示された値を用いた。
・電気自動車用 WPT の電力伝送波は無変調連続波であり、WPT 基本波及び整数次高調波が電波時計の受信周波数と一致していないことから、電波時計への周波数帯域内干渉は起こり得ないものと判断し、電波時計の受信周波数帯域外への WPT 基本波の影響を対象とした。
・許容可能な離隔距離は、CISPR 上の「住宅環境」において 10m 以内の距離に存在する無線通信機器が保護の対象とされていることを考慮し、10m とした。

(2) 干渉検討モデル

WPT システムは、図 3.2.1-1 に示すように屋外に設置され、電波時計は隣接する家屋の屋内に静置されているモデルを想定した。電波時計は、クロックとウオッチの 2 種類を検討対象とした。電波時計の許容干渉量は、C/I 基準とする。I は WPT から電波時計に届く干渉レベルであり、C は標準電波送信所から電波時計に届く信号電力レベルである。

図 3.2.1-1　電気自動車用 WPT と電波時計の干渉検討モデル

(3) 干渉計算

机上計算により所要離隔距離を計算した。計算結果を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1　所要離隔距離の計算結果（電気自動車用 WPT）

【クロック】

電波時計利用周波数	EV/PHEV WPT			周波数外干渉許容レベル	所要離隔距離
	バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	(dBuV/m)	(m)
40kHz	42-48kHz	42	95.4	88.8	38.6
	52-58kHz	52	95.4	101.9	23.4
	79-90kHz	79	95.4	110.7	16.7
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	117.0	13.1
60kHz	42-48kHz	48	95.4	107.7	18.7
	52-58kHz	58	95.4	101.6	23.6
	79-90kHz	79	95.4	119.2	12.0
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	129.0	8.3

【ウォッチ】

電波時計利用周波数	EV/PHEV WPT			周波数外干渉許容レベル	所要離隔距離
	バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	(dBuV/m)	(m)
40kHz	42-48kHz	42	95.4	86.7	41.9
	52-58kHz	52	95.4	98.4	26.7
	79-90kHz	79	95.4	107.1	19.1
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	109.0	17.8
60kHz	42-48kHz	48	95.4	103.9	21.6
	52-58kHz	58	95.4	92.3	33.8
	79-90kHz	79	95.4	105.4	20.4
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	116.0	13.6

(4) 干渉緩和の方策等

前述のように、42-48kHz 帯、52-58kHz 帯、79-90kHz 帯及び 140.91-148.5kHz 帯の全ての周波数帯で、所要離隔距離が 10m を上回っている。

そこで、以下のとおり干渉緩和の方策について検討を行った。

（ア）家庭用 WPT による緩和

電気自動車用 WPT については、表 3.1-3 と表 3.1-5 に示すように「家庭用 WPT」と「公共用 WPT」の 2 種類を想定している。

所要離隔距離については、本節「(1)検討の進め方」において、CISPR 上の「住宅環境」において 10m 以内の距離に存在する無線通信機器が保護の対象とされていることを考慮し、10m としたところであり、「家庭用 WPT」については、この考え方を適用することが適当であると考えられる。

しかしながら、「公共用 WPT」については、より長い離隔距離が確保される環境での運用が一般的であると想定される。例えば、現在運用されている有線の電気自動車用の充電器のうち「公共用 WPT」に相当する急速充電器については、事業者のみが設置しており、一般家庭では運用されていない。加えて、騒音防止等の観点から、有線の電気自動車用の充電器については、業界団体の自主規制により一般住宅から 20m 以上離隔した状態での運用がなされているところである。「公共用 WPT」についても、

実用化後、普及段階に達するまでの間には業界団体が設立され、有線の電気自動車用の充電器と同等の運用が行われることが想定されるため、電気自動車用 WPT のうち「公共用 WPT」については所要離隔距離が 20m を上回っているかどうかが 1 つの基準になるものと考えられる。

共用検討の対象を「家庭用 WPT」に限定した場合、所要離隔距離は表 3.2.1-2 のとおり算出される。

表 3.2.1-2　所要離隔距離の計算結果（電気自動車用 WPT のうち家庭用 WPT）

【クロック】

電波時計利用周波数	EV/PHEV WPT バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	周波数外干渉許容レベル (dBuV/m)	所要離隔距離 (m)
40kHz	42-48kHz	42	91.3	88.8	33.0
	52-58kHz	52	91.3	101.9	20.0
	79-90kHz	79	91.3	110.7	14.2
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	117.0	11.2
60kHz	42-48kHz	48	91.3	107.7	16.0
	52-58kHz	58	91.3	101.6	20.2
	79-90kHz	79	91.3	119.2	10.3
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	129.0	7.1

【ウォッチ】

電波時計利用周波数	EV/PHEV WPT バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	周波数外干渉許容レベル (dBuV/m)	所要離隔距離 (m)
40kHz	42-48kHz	42	91.3	86.7	35.8
	52-58kHz	52	91.3	98.4	22.8
	79-90kHz	79	91.3	107.1	16.4
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	109.0	15.2
60kHz	42-48kHz	48	91.3	103.9	18.5
	52-58kHz	58	91.3	92.3	28.9
	79-90kHz	79	91.3	105.4	17.5
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	116.0	11.6

（イ）安定性設計による緩和

自動車業界においては、製造販売される製品の製造者責任を確保するため、製品の品質にばらつきが生じることを前提として、強制規格値から一定の設計余裕度を持たせた安定性設計を行うことが一般的であることから、これを干渉緩和の要素として組み込むことができる。電気自動車用 WPT については、設計上 6dB の余裕度を見込むことが想定されており、この値を適用した場合の所要離隔距離は表 3.2.1-3 のとおり算出される。

なお、全ての製品についてこの 6dB という設計上の余裕度が担保される訳ではないが、多くの製品の平均的な実態を表しているため、共用検討の実態を表す検討結果としては妥当だと考えられる。

表 3.2.1-3　所要離隔距離の計算結果
（電気自動車用 WPT のうち家庭用 WPT（安定性設計を考慮））

【クロック】

電波時計利用周波数	EV/PHEV WPT			周波数外干渉許容レベル	所要離隔距離
	バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	(dBuV/m)	(m)
40kHz	42-48kHz	42	85.3	88.8	26.2
	52-58kHz	52	85.3	101.9	15.9
	79-90kHz	79	85.3	110.7	11.3
	140.91-148.5kHz	140.9	85.3	117.0	8.9
60kHz	42-48kHz	48	85.3	107.7	12.7
	52-58kHz	58	85.3	101.6	16.0
	79-90kHz	79	85.3	119.2	8.2
	140.91-148.5kHz	140.9	85.3	129.0	5.6

【ウォッチ】

電波時計利用周波数	EV/PHEV WPT			周波数外干渉許容レベル	所要離隔距離
	バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	(dBuV/m)	(m)
40kHz	42-48kHz	42	85.3	86.7	28.4
	52-58kHz	52	85.3	98.4	18.1
	79-90kHz	79	85.3	107.1	13.0
	140.91-148.5kHz	140.9	85.3	109.0	12.1
60kHz	42-48kHz	48	85.3	103.9	14.7
	52-58kHz	58	85.3	92.3	22.9
	79-90kHz	79	85.3	105.4	13.9
	140.91-148.5kHz	140.9	85.3	116.0	9.2

(5) 検討結果

(ア)42kHz 以上 48kHz 以下

干渉緩和要素を考慮した場合であっても、表 3.2.1-3 より所要離隔距離が最大で「28.4m」となっており、目標値である「10m」を大きく超過している。

(イ)52kHz 以上 58kHz 以下

干渉緩和要素を考慮した場合であっても、表 3.2.1-3 より所要離隔距離が最大で「22.9m」となっており、目標値である「10m」を大きく超過している。

(ウ)79kHz 以上 90kHz 以下

電気自動車用 WPT のうち「公共用 WPT」については、表 3.2.1-1 より所要離隔距離が最大で「20.4m」となっている。前述のとおり、現在運用されている有線の電気事業者の充電器のうち、急速充電器に相当する「公共用 WPT」については、電気自動車用 WPT の普及推進を担う業界団体等によって「一般の住宅環境では運用せず事業者の

みが設置するものであること」及び「設置の際に一般の住宅環境から20m以上の離隔距離をもって運用するものであること」が担保されれば、、共用条件を満たすものと考えられる。また、将来、「公共用WPT」の漏えい電界強度を「家庭用WPT」の漏えい電界強度以下に低減できる場合には、下記のとおり共用条件を満たすものと考えられる。

電気自動車用WPTのうち「家庭用WPT」については、干渉緩和要素を考慮した場合に表3.2.1-3より所要離隔距離が最大で「13.9m」となっており、目標値である「10m」を超過している。しかしながら、電波時計のうちウオッチについては、将来的に回路設計の改良等によりクロック並みの耐干渉性を有することが期待されており、これを考慮した場合の所要離隔距離は表3.2.1-3より「11.3m」となる。この場合でも、目標値である「10m」を超過しているが、電気自動車用WPTについては、利用時間帯が電波時計の受信時間帯と必ずしも重なる訳ではないこと、電波時計の受信指向性の最大方向と電気自動車用 WPT の基本波の到来方向が必ずしも一致する訳ではないこと等を踏まえると、実質的な運用上の支障が生じる可能性は高くないものと考えられ、WPT システムの取扱説明書や製品本体等に「電波時計への混信妨害の可能性がある」旨を明示し、消費者への注意喚起を行うことにより干渉回避が可能となるものと考えられる。

したがって、79kHz以上90kHz以下については、共用条件を満たすものと考えられる。

(エ)140.91kHz以上148.5kHz以下

電気自動車用WPTのうち「公共用WPT」については、表3.2.1-1より所要離隔距離が最大で「17.8m」となっている。現在運用されている有線の電気事業者の充電器のうち、急速充電器に相当する「公共用WPT」については、電気自動車用WPTの普及推進を担う業界団体等によって「一般の住宅環境では運用せず事業者のみが設置するものであること」及び「設置の際に一般の住宅環境から20m以上の離隔距離をもって運用するものであること」が担保されれば、共用条件を満たすものと考えられる。また、将来、「公共用WPT」の漏えい電界強度を「家庭用WPT」の漏えい電界強度以下に低減できる場合には、下記のとおり共用条件を満たすものと考えられる。

電気自動車用WPTのうち「家庭用WPT」については、干渉緩和要素を考慮した場合に表3.2.1-3より所要離隔距離が最大で「12.1m」となっており、目標値である「10m」を超過している。しかしながら、電波時計のうちウオッチについては、将来的に回路設計の改良等によりクロック並みの耐干渉性を有することが期待されており、これを考慮した場合の所要離隔距離は表3.2.1-3より「8.9m」となる。この場合には、目標値である「10m」の範囲内にある。また、電気自動車用WPTについては、利用時間帯が電波時計の受信時間帯と必ずしも重なる訳ではないこと、電波時計の受信指向性の最大方向と電気自動車用 WPT の基本波の到来方向が必ずしも一致する訳ではないこと等を踏まえると、実質的な運用上の支障が生じる可能性は高くないものと考えられ、WPT システムの取扱説明書や製品本体等に「電波時計への混信妨害の可能性がある」旨を明示し、消費者への注意喚起を行うことにより干渉回避が可能となるものと考えられる。

したがって、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下については、共用条件を満たすものと考えられる。

3.2.2　家電機器用WPT②（家庭・オフィス機器）

(1) 検討の進め方

・電波時計の最小受信感度は、50dBμV/mとした。

・電波時計の許容干渉レベルは、時計協会から提示された値を用いた。
・家電機器用 WPT②の電力伝送波は無変調連続波であるが、整数次高調波が電波時計の受信周波数と一致することから、電波時計の受信周波数帯域外への WPT 基本波の影響と電波時計への周波数帯域内干渉を対象とした。
・許容可能な離隔距離は、CISPR 上の「住宅環境」において 10m 以内の距離に存在する無線通信機器が保護の対象とされていることを考慮し、10m とした。ただし、家電機器用 WPT②については主に屋内で利用され、同一家屋の家庭内に電波時計が存在する可能性を考慮し、所要離隔距離は定めずに実利用環境を考察した検討も併せて行う。

(2) 干渉検討モデル

WPT システムは下記の図に示すような同一家屋の屋内(図 3.2.2-1)又は隣接家屋の屋内(図 3.2.2-2)に設置され、電波時計は屋内に静置されているモデルを想定した。電波時計は、クロックとウオッチの 2 種類を想定した。電波時計の許容干渉量は C/I 基準とすることとなった。I は WPT から電波時計に届く干渉レベルであり、C は標準電波送信所から電波時計に届く信号電力レベルである。

図 3.2.2-1 WPT システムの設置モデル（同一家屋）

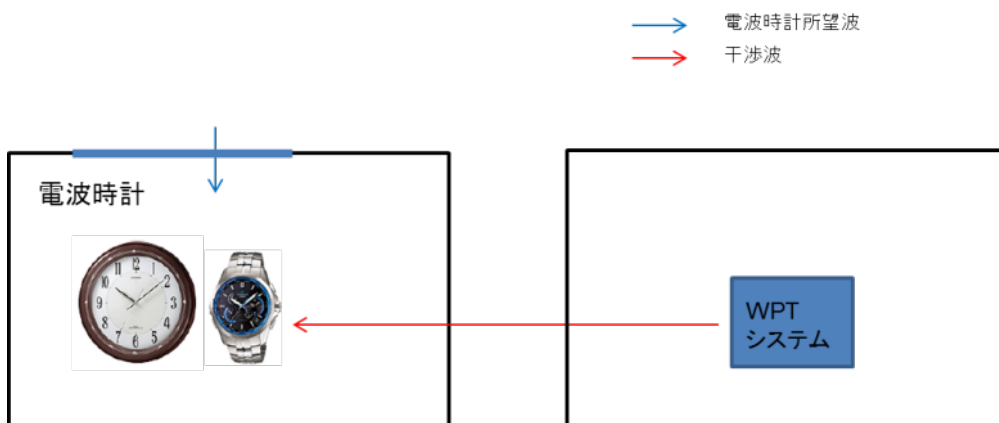



図 3.2.2-2 WPT システムの設置モデル（隣接家屋）

(3) 干渉計算

机上計算により所要離隔距離を計算した。計算結果を表に示す。表 3.2.2-1 は電波時計に対する周波数帯域外干渉の所要離隔距離であり、表 3.2.2-2 は電波時計に対する周波数帯域内干渉の所要離隔距離である。

表 3.2.2-1 電波時計周波数帯域外干渉（家電機器用 WPT②）

【クロック】

電波時計 利用周波数	家電・オフィス機器 WPT バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	周波数外干渉許容レベル (dBuV/m)	所要離隔距離 (m)
40kHz	20.05-38kHz	38	60.0	89.5	9.7
	42-58kHz	42	60.0	88.8	9.9
	62-100kHz	62	60.0	106.5	5.0
60kHz	20.05-38kHz	38	60.0	114.1	3.8
	42-58kHz	58	60.0	91.6	8.9
	62-100kHz	62	60.0	91.0	9.1

【ウォッチ】

電波時計 利用周波数	家電・オフィス機器 WPT バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	周波数外干渉許容レベル (dBuV/m)	所要離隔距離 (m)
40kHz	20.05-38kHz	38	60.0	87.4	10.5
	42-58kHz	42	60.0	86.7	10.8
	62-100kHz	62	60.0	103.0	5.8
60kHz	20.05-38kHz	38	60.0	100.2	6.4
	42-58kHz	58	60.0	82.3	12.7
	62-100kHz	62	60.0	81.9	12.9

表 3.2.2-2 電波時計周波数帯域内干渉（家電機器用 WPT②）

【クロック】

電波時計	家電・オフィス機器 WPT			干渉緩和要素案		周波数内	所要離隔
利用周波数	バンド（第2高調波）	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	WPT側緩和要素 (dB)	電波時計側緩和要素 (dB)	干渉許容レベル (dBuV/m)	距離 (m)
40kHz	20.05kHz x 2	40.1	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	21kHz x 2	42	44.8	0.0	0.0	88.8	5.5
60kHz	29kHz x 2	58	44.8	0.0	0.0	91.6	5.0
	30kHz x 2	60	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	31kHz x 2	62	44.8	0.0	0.0	91.0	5.1

【ウォッチ】

電波時計	家電・オフィス機器 WPT			干渉緩和要素案		周波数内	所要離隔
利用周波数	バンド（第2高調波）	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	WPT側緩和要素 (dB)	電波時計側緩和要素 (dB)	干渉許容レベル (dBuV/m)	距離 (m)
40kHz	20.05kHz x 2	40.1	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	21kHz x 2	42	44.8	0.0	0.0	86.7	6.0
60kHz	29kHz x 2	58	44.8	0.0	0.0	82.3	7.1
	30kHz x 2	60	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	31kHz x 2	62	44.8	0.0	0.0	81.9	7.2

(4) 利用時間の検討

表 3.2.2-3 に電波時計の自動受信時刻と家電機器用 WPT②の給電(充電)時刻を示す。ここで、「給電」とは家電機器の使用を伴う当該家電機器への電力伝送をいい、「充電」とは家電機器の使用を伴わない当該家電機器への電力伝送をいう。電波時計の自動受信時刻は、各社で採用されている 18 タイプの受信時刻を示している。受信開始時刻は 12 時から翌日の 11 時とし、○印は毎日受信する時刻を、△印は○印の時刻に受信できなかったときに再度受信を試みる時刻を表している。

また、家電機器用 WPT②の用途と種類は、2.1 (3)で示されている機器を例とし、電波時計の自動受信時刻と WPT の利用時刻とを比較できるようになっている。それぞれの WPT 機器の横棒の濃淡は使用頻度を表し、薄いほど利用頻度が少ないことを示している。例えば、オフィス機器については、就業時間帯である 9 時頃から 18 時頃までの間の使用確率が高く、深夜に近づくにつれて使用確率が低くなっていくことを表している。家庭機器については、朝、昼、晩の食事の時間帯の前後での使用確率が高くなることを表している。なお、冷蔵庫のような連続して稼働する重家電については、WPT を適用する利点が無いため、考慮する必要はない。

表 3.2.2-3　電波時計自動受信時刻と WPT の給電（充電）時刻

○ :毎日受信
△ :同じ日に受信できないとき再受信

番号	種類	受信開始時刻																							
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ウォッチ															○	△	△							
2	ウォッチ															○		△							
3	ウォッチ															○	△								
4	ウォッチ															○	△	△							
5	ウォッチ															○		△							
6	ウォッチ													○	△	△	△	△	△						
7	ウォッチ															○	△	△							
8	ウォッチ														○	○	△	△	△						
9	クロック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	クロック		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
11	クロック			○				○								○	○			○				○	
12	クロック			○			○			○			○			○			○			○			○
13	クロック															○	△	△	△	△					
14	クロック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15	クロック	電池投入から3時間おき																							
16	クロック	△	△	△												○	△	△							
17	クロック	○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○	
18	クロック		○	○	○	○									○	○	○	○							

用途	種類	給電/充電時刻
オフィス機器	PC（給電/充電）	
	モニタ（給電）	
家庭機器	住宅設備（給電）	
	調理機器（給電）	

(5) 検討結果

(ア)20.05kHz 以上 21kHz 未満

電波時計に対する周波数帯域内干渉については、表 3.2.2-2 より所要離隔距離が最大で「24.6m」となっており、目標値である「10m」を大きく超過している。

(イ)21kHz 以上 29kHz 以下

電波時計に対する周波数帯域外干渉については、表 3.2.2-1 より所要離隔距離が最大で「10.5m」となっており、目標値である「10m」を超過している。しかしながら、電波時計のうちウオッチについては、将来的に回路設計の改良等によりクロック並みの耐干渉性を有することが期待されており、これを考慮した場合の所要離隔距離は表 3.2.2-1 より「9.7m」となる。この場合には、目標値である「10m」の範囲内にある。また、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこと、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、実質的な運用上の支障が生じる可能性は高くないものと考えられる。

電波時計に対する周波数帯域内干渉については、表 3.2.2-2 より所要離隔距離が最大で「7.1m」となっており、目標値である「10m」の範囲内にある。

なお、電波時計と家電機器用 WPT②が同一家屋の屋内で近接して利用されることも想定されるが、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこ

と、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、WPT システムの取扱説明書や製品本体等に「電波時計への混信妨害の可能性がある」旨を明示し、消費者への注意喚起を行うことにより干渉回避が可能となるものと考えられる。

(ウ)29kHz を超え 31kHz 未満

電波時計に対する周波数帯域内干渉については、表 3.2.2-2 より所要離隔距離が最大で「24.6m」となっており、目標値である「10m」を大きく超過している。

(エ)31kHz 以上 38kHz 以下

電波時計に対する周波数帯域外干渉については、表 3.2.2-1 より所要離隔距離が最大で「10.5m」となっており、目標値である「10m」を超過している。しかしながら、電波時計のうちウオッチについては、将来的に回路設計の改良等によりクロック並みの耐干渉性を有することが期待されており、これを考慮した場合の所要離隔距離は表 3.2.2-1 より「9.7m」となる。この場合には、目標値である「10m」の範囲内にある。また、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこと、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、実質的な運用上の支障が生じる可能性は高くないものと考えられる。

電波時計に対する周波数帯域内干渉については、表 3.2.2-2 より所要離隔距離が最大で「7.2m」となっており、目標値である「10m」の範囲内にある。

なお、電波時計と家電機器用 WPT②が同一家屋の屋内で近接して利用されることも想定されるが、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこと、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、WPT システムの取扱説明書や製品本体等に「電波時計への混信妨害の可能性がある」旨を明示し、消費者への注意喚起を行うことにより干渉回避が可能となるものと考えられる。

(オ)42kHz 以上 58kHz 以下

電波時計に対する周波数帯域外干渉については、表 3.2.2-1 より所要離隔距離が最大で「12.7m」となっており、目標値である「10m」を超過している。しかしながら、電波時計のうちウオッチについては、将来的に回路設計の改良等によりクロック並みの耐干渉性を有することが期待されており、これを考慮した場合の所要離隔距離は表 3.2.2-1 より「9.9m」となる。この場合には、目標値である「10m」の範囲内にある。また、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこと、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、実質的な運用上の支障が生じる可能性は高くないものと考えられる。

電波時計に対する周波数帯域内干渉については、家電機器用 WPT②の整数次高調波が電波時計の周波数帯域と重なる可能性がないため、特段の支障は認められないものと考えられる。

なお、電波時計と家電機器用 WPT②が同一家屋の屋内で近接して利用されることも想定されるが、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこ

と、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、WPT システムの取扱説明書や製品本体等に「電波時計への混信妨害の可能性がある」旨を明示し、消費者への注意喚起を行うことにより干渉回避が可能となるものと考えられる。

(カ)62kHz 以上 100kHz 以下

電波時計に対する周波数帯域外干渉については、表 3.2.2-1 より所要離隔距離が最大で「12.9m」となっており、目標値である「10m」を超過している。しかしながら、電波時計のうちウオッチについては、将来的に回路設計の改良等によりクロック並みの耐干渉性を有することが期待されており、これを考慮した場合の所要離隔距離は表 3.2.2-1 より「9.1m」となる。この場合には、目標値である「10m」の範囲内にある。また、家電機器用 WPT②については、電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこと、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、実質的な運用上の支障が生じる可能性は高くないものと考えられる。

電波時計に対する周波数帯域内干渉については、家電機器用 WPT②の整数次高調波が電波時計の周波数帯域と重なる可能性がないため、特段の支障は認められないものと考えられる。

なお、電波時計と家電機器用 WPT②が同一家屋の屋内で近接して利用されることも想定されるが、家電機器用 WPT②については、想定される利用形態から深夜時間帯の利用がほとんど考えられず電波時計の主な受信時間帯と重なる可能性が高くないこと、主な用途が電力伝送を行いながらの利用でありかつ充電を行う場合であっても蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと等を考慮すれば、WPT システムの取扱説明書や製品本体等に「電波時計への混信妨害の可能性がある」旨を明示し、消費者への注意喚起を行うことにより干渉回避が可能となるものと考えられる。

3.3　列車無線等：信号保安設備との共用検討

「列車無線等」との周波数共用検討については、鉄道の安全・安定運行のために本検討の対象周波数域を使用している信号保安設備と誘導式列車無線を対象として検討を行った。本節では、信号保安設備との共用検討について述べる。誘導式列車無線との共用検討については、次節（3.4）で述べる。。

信号保安設備との周波数共用検討は、一般社団法人日本鉄道電気技術協会（以下「電技協」という。）が設置した「WPT と鉄道設備共存検討会」において、BWF、鉄道事業者、関連メーカ、公益財団法人鉄道総合技術研究所が参加して実施した。検討対象となる WPT システムは、電気自動車用 WPT、家電機器用 WPT②及び家電機器用 WPT③である。

(1) 信号保安設備の概要

信号保安設備は、列車運行の安全を確保するための最も基本的な設備である。信号保安設備には、微小な高周波電流や密な電磁的な結合を用いて、列車の在線検知、信号機や速度制限に対する防護、力行・ブレーキの制御を行っているものがある。本検討では、各種の信号保安設備のうち、以下の装置を調査検討の対象とした。

- ATS 装置：自動列車停止装置（信号機、速度制限に対する防護）
- ATC 装置：自動列車制御装置（ブレーキ制御）
- ATO 装置：自動列車運転装置（力行・ブレーキ制御）
- TD 装置：列車の在線を検知する装置
- 列車選別装置：急緩種別により踏切を制御する装置
- 踏切装置：踏切鳴動のための列車検知、障害物検知を行う装置
- その他装置：車軸による列車検知、速度検知装置等

上記の装置が許容できる強度以上の電磁的な干渉を受けた場合、列車の誤検知や見逃し、速度情報の誤り等といった事象に至り、列車の安全運行を阻害するおそれがある。

(2) WPT 使用周波数域における信号保安設備の利用状況

WPT が使用を予定している周波数域を対象として、(1)で検討対象とした各装置が使用している周波数を調査した。調査結果を図 3.3-1 に示す。

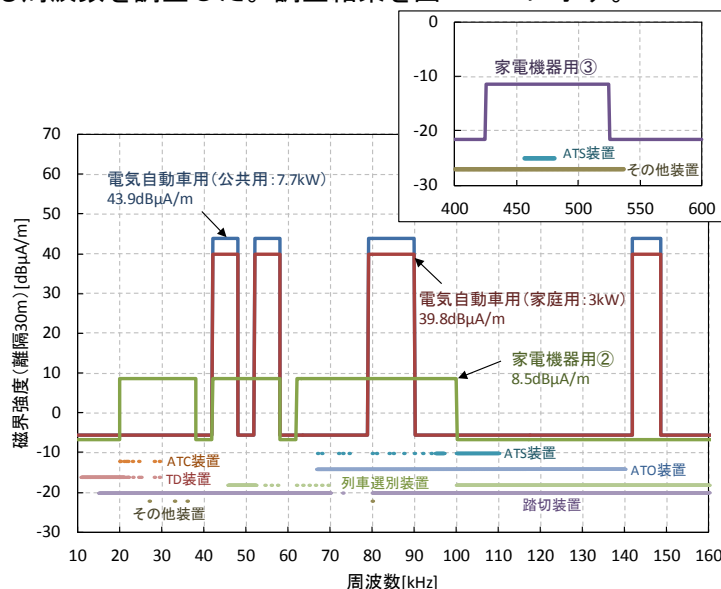



図 3.3-1　WPT の使用周波数と信号保安設備の使用周波数との関係

なお､図中の WPT が使用する周波数域を表す線は 30m 地点での目標磁界強度値を示しているが、信号保安設備のプロットは周波数軸のみ有効であり、縦軸（磁界強度）は耐妨害性等のレベルを表すものではない。

図 3.3-1 に示したように、WPT の使用周波数域は、信号保安設備の使用帯域と重複している。従って、共存を図るためには、WPT の放射磁界と信号保安設備の耐妨害特性との関係（レベル差）を求め、いかなる状況においても干渉を与えない所要離隔距離を求めることが技術的には必要となる。

(3) 信号保安設備の耐妨害特性

(2)の調査結果を踏まえ、信号保安設備が耐妨害特性の調査を行った。信号保安設備には、JIS E 3005（変周式自動列車停止装置の試験方法）のように 1m×1m の１ターンループコイルに流れる妨害電流値として､耐妨害特性を規定できるもの（以下「Type A」装置と呼ぶ）と、軌道回路のようにレール自体に流れる妨害電流値として、耐妨害特性を規定しているもの（以下「Type B」装置と呼ぶ）がある。鉄道信号設備の妨害許容値の調査結果を表 3.3-1 に示す。また、Type A 装置の耐妨害特性ならびに図 3.3-2 に示す。

表 3.3-1 及び図 3.3-2 は、調査対象とした各種の信号保安設備ごとの許容値（実際に装置が誤動作する強度に対して 6dB のマージンを含む値）のうち、最も小さい値（最も妨害に弱い装置の値）を抽出したものである。

表 3.3-1　信号保安設備の妨害許容値

<table>
<tr><th rowspan="2">WPT の使用周波数
帯域区分</th><th rowspan="2">WPT 用途</th><th colspan="2">鉄道信号設備の耐妨害特性</th></tr>
<tr><th>①「Type A」装置
(1m×1m の１ターンループコイルに流れる妨害電流値)</th><th>②「Type B」装置
(レールに流れる妨害電流値)</th></tr>
<tr><td>20.05～38kHz</td><td>家電機器用②</td><td>6mA</td><td>0.18mA</td></tr>
<tr><td>42～44kHz
45～48kHz</td><td>電気自動車用</td><td>25mA
8.6mA</td><td>なし</td></tr>
<tr><td>49～51kHz</td><td>家電機器用②</td><td>8.6mA</td><td>10mA
(①より強耐性のため無視)</td></tr>
<tr><td>52～58kHz</td><td>電気自動車用</td><td>7.4mA</td><td>なし</td></tr>
<tr><td>62～78kHz</td><td>家電機器用②</td><td>5.8mA</td><td>1.5A
(①より強耐性のため無視)</td></tr>
<tr><td>79～90kHz</td><td>電気自動車用</td><td>5.8mA</td><td>170mA
(①より強耐性のため無視)</td></tr>
<tr><td>91～100kHz</td><td>家電機器用②</td><td>6.3mA</td><td>170mA
(①より強耐性のため無視)</td></tr>
<tr><td>140.91～148.5kHz</td><td>電気自動車用</td><td>7.5mA</td><td>なし</td></tr>
<tr><td>425～524kHz</td><td>家電機器用③</td><td>0.35mA</td><td>なし</td></tr>
</table>

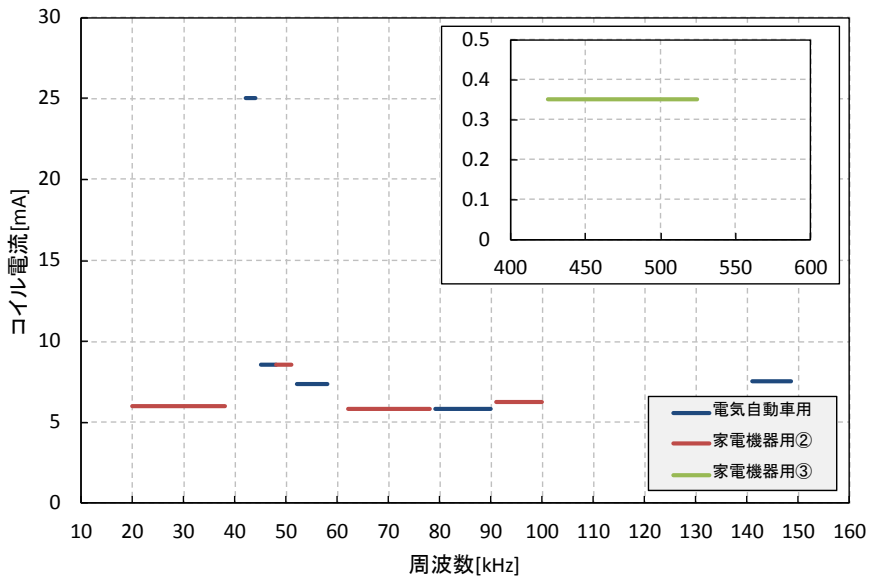



図 3.3-2　鉄道信号設備（「Type A」装置）の妨害許容値

以降で述べる個々の WPT システムとの共用に関する具体的な検討にあたっては、表 3.3-1 に示した妨害許容値に基づいて、所要離隔距離を求めることとした。

3.3.1　電気自動車用 WPT

(1)　検討の進め方

信号保安設備に影響を与える磁界強度に関しては、JIS E 3005（変周式自動列車停止装置の試験方法）を参考に、模擬ノイズ源である1m×1mの1ターンループコイルに電流を流し、車上信号保安設備に10cmの距離に近づけたときに、車上信号保安設備が検知又は誤動作する場合の1ターンループコイルの電流レベルを判定の基準値として用いた。

1ターンループコイルにどの程度の電流を流すと、 WPT機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかについて、離隔距離をパラメータとして計算グラフ化し、電気自動車用WPTからの漏えい磁界による影響を受けなくなるために必要な離隔距離を算出した。所要離隔距離の算出に当たっては、電気自動車用WPTからの漏えい磁界が最も大きくなるケースを選定した。電気自動車用WPTについては、「家庭用WPT」及び「公共用WPT」の2種類を想定している。

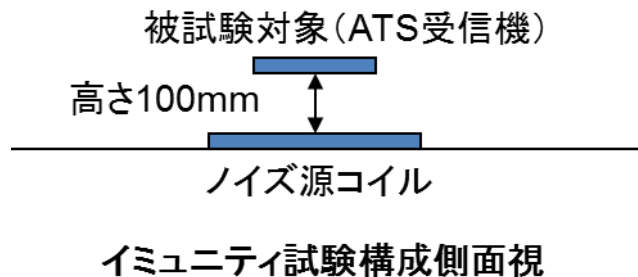



図 3.3.1-1　ノイズ源 1 ターンループコイルと信号保安設備受信機の位置関係

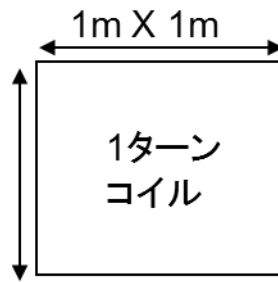



図 3.3.1-2　ノイズ源 1 ターンループコイルサイズ

(2) 干渉検討モデル

検討を行った干渉検討モデルを以下に示す。

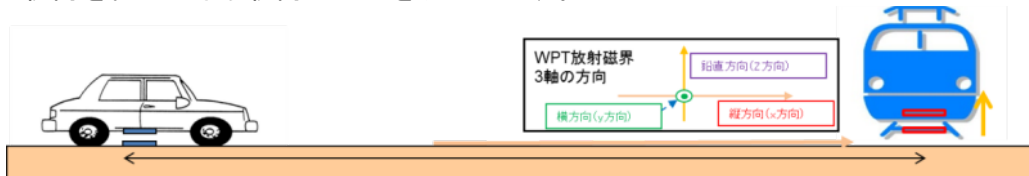



図 3.3.1-3　電気自動車用 WPT と信号保安設備の干渉検討モデル 1

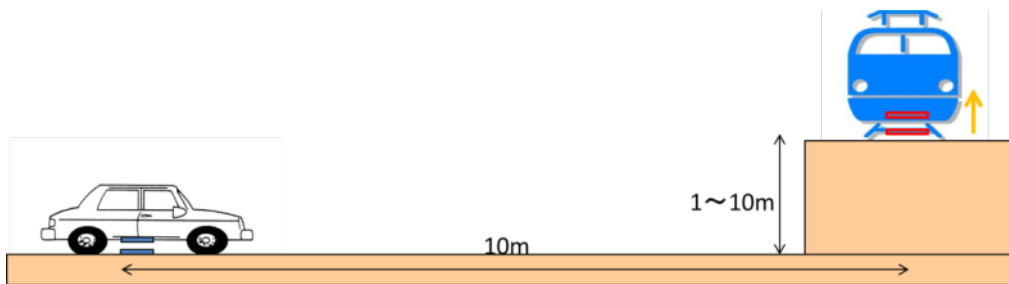



図 3.3.1-4　電気自動車用 WPT と信号保安設備の干渉検討モデル 2

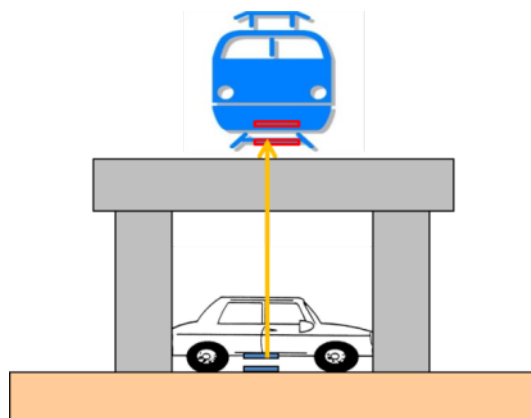



図 3.3.1-5　電気自動車用 WPT と信号保安設備の干渉検討モデル 3

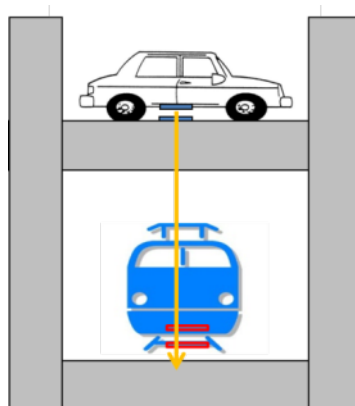



図 3.3.1-6　電気自動車用 WPT と信号保安設備の干渉検討モデル 4

(3) 干渉計算

信号保安設備の許容干渉レベルとしては、表 3.3-1 に示した「Type A 装置」に対するワンターンループコイルに流れる許容電流値を採用した。使用した値を表 3.3.1-1 に再掲する。

干渉計算における判断基準として、建築限界との比較を行っている。建築限界とは、鉄道車両が安全に線路を走行できるよう、車両と建造物等との接触を防ぐために設定されている空間であり、鉄道事業者では、建築限界内に建造物等が入らないよう、日常的に管理を行っている。建築限界の大きさは鉄道事業者や線区によって異なり、1.5m や 1.8m といった値が設定されている場合があるが、ここでは、ＪＲの在来線で一般的に用いられている建築限界の値を使用した。線路直角方向の距離が軌間中心から 1.9m、線路垂直方向は直流電化区間ではレール面より上方 4.9m、非電化区間ではレール面より上方 4.3m である。

表 3.3.1-1　信号保安設備許容干渉レベル

ATS 許容レベル	
周波数 (kHz)	ワンターンループコイルに流れる電流 (mA)
42-48	25
52-58	7.4
79-90	5.8
140.91-148.5	7.5

信号保安設備と電気自動車用 WPT の干渉検討モデル 1～4 において、Z 軸方向の漏えい磁界強度が最大となる方向と、そのときの漏えい磁界強度をシミュレーションにより求める。シミュレーションの概略説明図を図 3.3.1-7 に、シミュレーション条件を表 3.3.1-2 に示す。

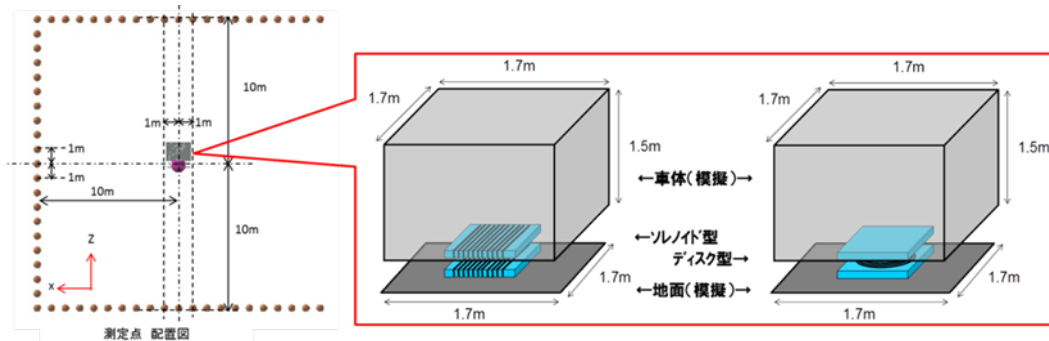



図 3.3.1-7　シミュレーション概略図

条件：
周波数：85kHz
出力電力：3.3kW
位置ずれ：正対
Gap：線間 Gap 165mm
　　　ユニット蓋間 Gap 150mm
解析ツール：EMCstudio
車体サイズ：1.7m×1.7m×1.5m（L×W×H）
車体材料：完全導体（PEC）
地面サイズ：1.7m×1.7m
地面材料：完全導体（PEC）

シミュレーション結果を、図 3.3.1-8、図 3.3.1-9、図 3.3.1-10、図 3.3.1-11 に示す。平面（ディスク）型コイルは、いずれの方向でもソレノイド型コイルの漏えい磁界より低い。よって、ソレノイド型コイルの漏えい磁界を検討する。図 3.3.1-8 より、モデル 2 の場合は距離補正も含めると高さ 6m の方向が最も漏えい磁界が強くなっている。図 3.3.1-9 よりモデル 3 及び 4 の場合は、距離補正も含めると横方向 6m の方向が最も漏えい磁界が強くなっている。

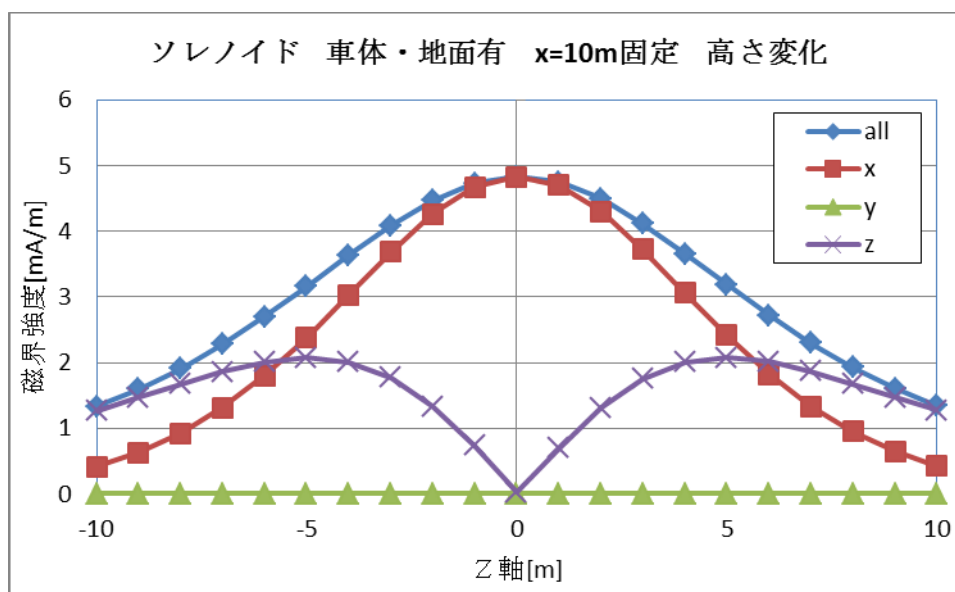



図 3.3.1-8　シミュレーション結果 1

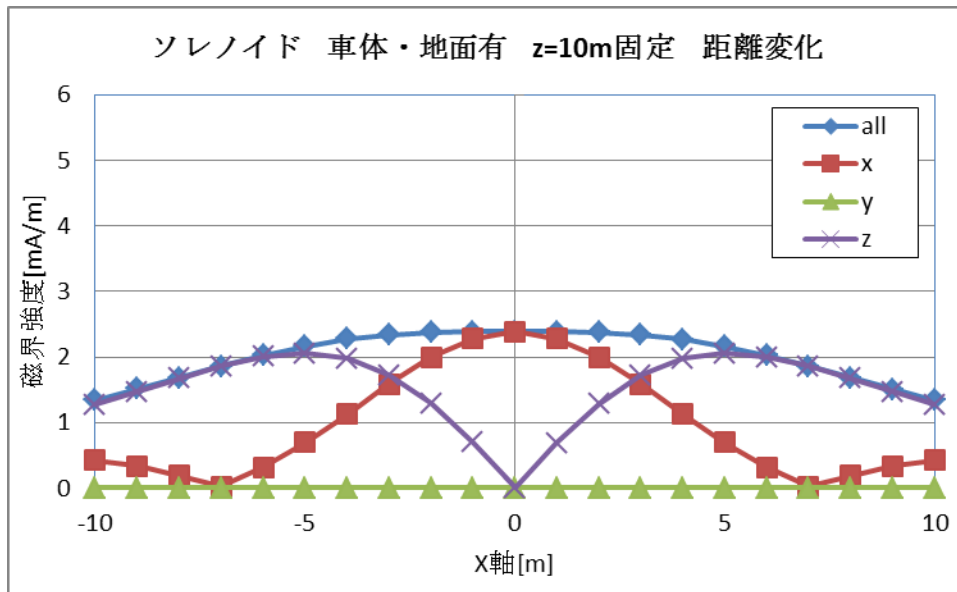



図 3.3.1-9　シミュレーション結果 2

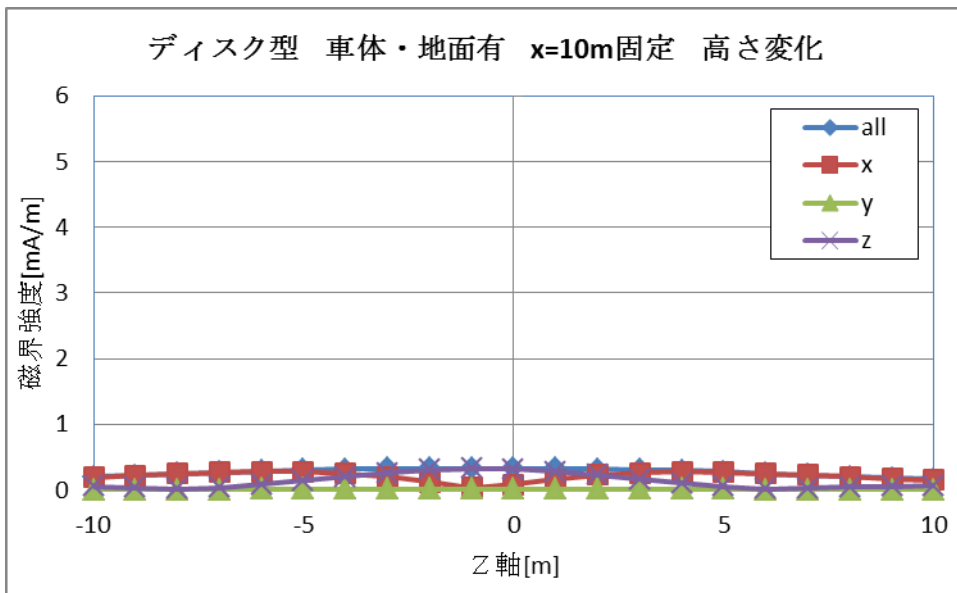



図 3.3.1-10　シミュレーション結果 3

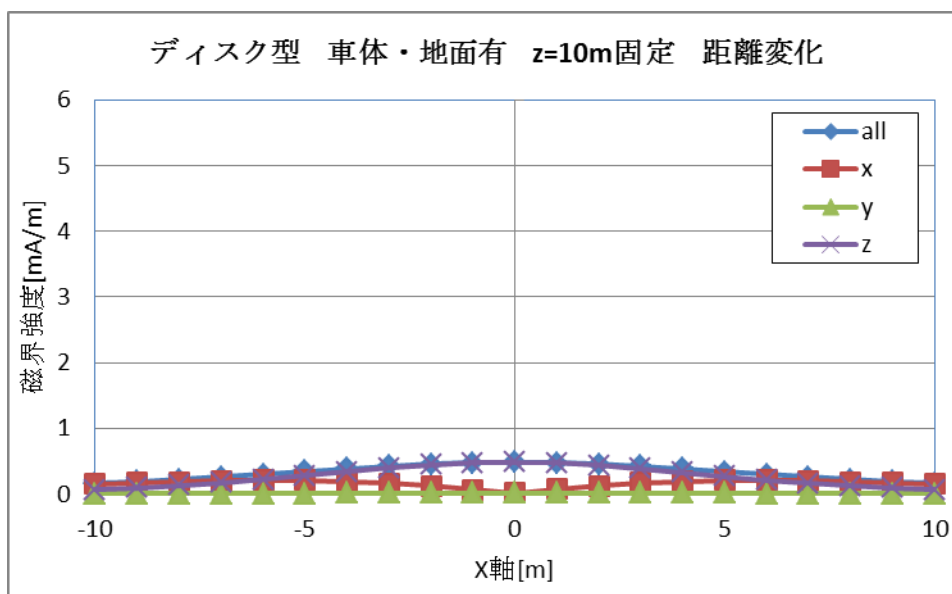



図 3.3.1-11　シミュレーション結果 4

モデル 1 では図 3.3.1-8 の Z 軸 0m 地点の全 3 軸の合計の漏えい磁界強度は、4.83 [mA/m]であるが、この値が全てのケースで最も強度が強い値となっているので、今後参照値として使用する。

このときの z 軸方向の漏えい磁界強度は、0.02 [mA/m]であり、参照値に対して 47.4[dB]磁界強度が弱くなっており少なく見積もっても 30[dB]は緩和されると仮定する。

モデル 2 では図 3.3.1-8 より、高さ 6m 方向が、最も z 軸方向の漏えい磁界が強くなっており、磁界強度は、2.53 [mA/m] である。よって、参照値に対して 5.6[dB]磁界強度が弱くなっている。

モデル 3 及び 4 では、図 3.3.1-9 より、横方向 6m 方向が、最も z 軸方向の漏えい磁界が強くなっていて、磁界強度は、2.52 [mA/m] である。よって、参照値に対して 5.6[dB]磁界強度が弱くなっている。

次に、1m×1m のノイズ源 1 ターンループコイルに実効値 1mA の電流を流したときに、コイル上部 100mm に生じる磁界を計算する。

シミュレーション結果を図 3.3.1-12 と図 3.3.1-13 に示す。いずれも最大 1.6mA/m（実効値）の磁界が発生している。

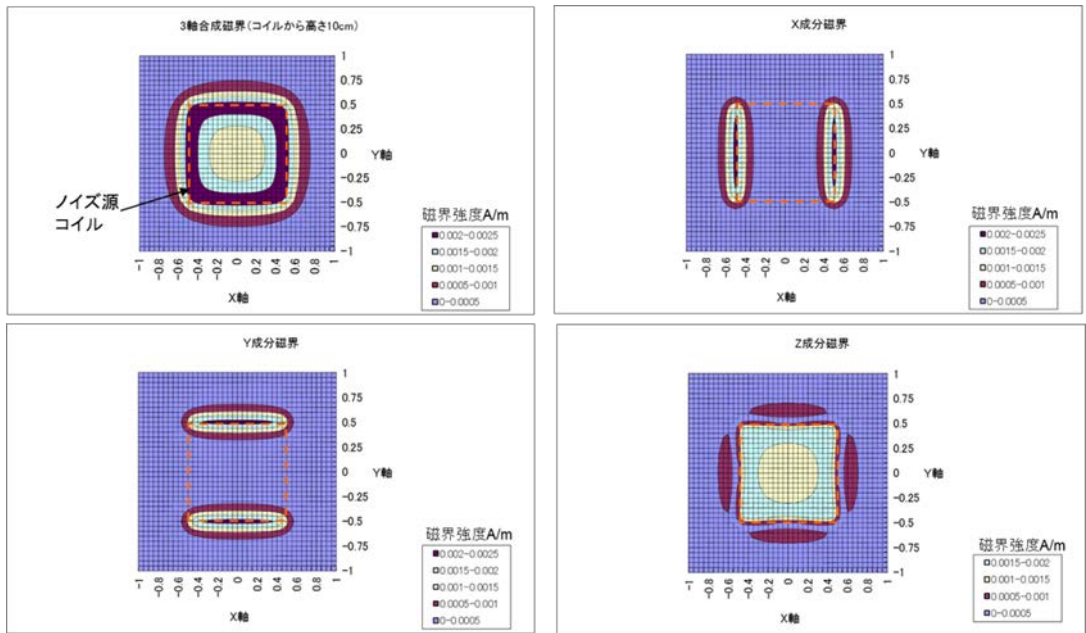



図 3.3.1-12　ノイズ源１ターンループコイルが生成する磁界強度１

結論：解析結果は下図で、最大値は1.6[mA/m]

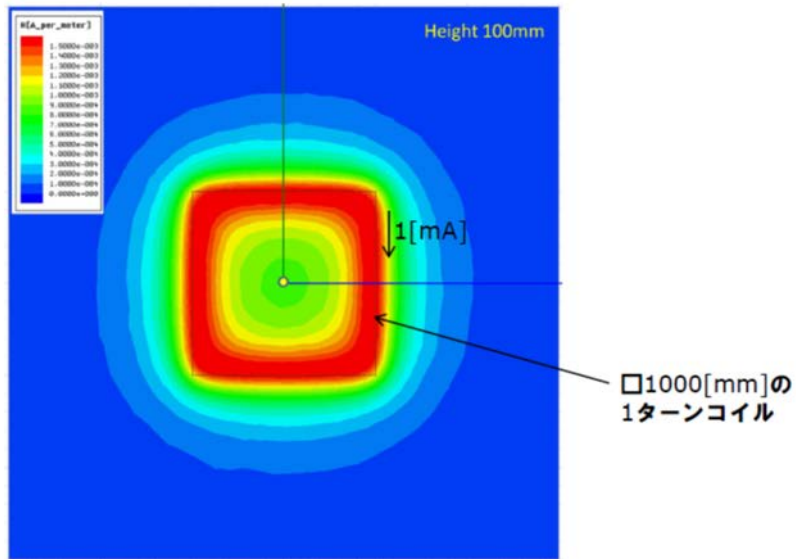



図1. コイルからの高さ100mmの平面内の
磁界強度の大きさコンター図

図 3.3.1-13　ノイズ源１ターンループコイルが生成する磁界強度２

モデル１のときの、電気自動車用 WPT（公共用）の場合で、30m 離れた場所の z 軸方向の漏えい磁界は、 4.9μA/m (=13.9dBμA/m = 43.9–30.0) であり、同等磁界となる１ターンループコイルに流れる電流は 3.1μA（9.8dBμA）である。

また電気自動車用 WPT（家庭用）の場合で、30m 離れた場所の z 軸方向の漏えい磁界は、 3.1μA/m (=9.8dBμA/m = 39.8–30.0) であり、同等磁界となる１ターンルー

プコイルに流れる電流は 1.9μA (5.7dBμA) である。
　離隔距離を変動させたときの、1ターンループコイルに流す電流値を、距離減衰3乗則を適用して求め、信号保安設備の許容電流値（実効値）と合せて図 3.3.1-14 に示す。

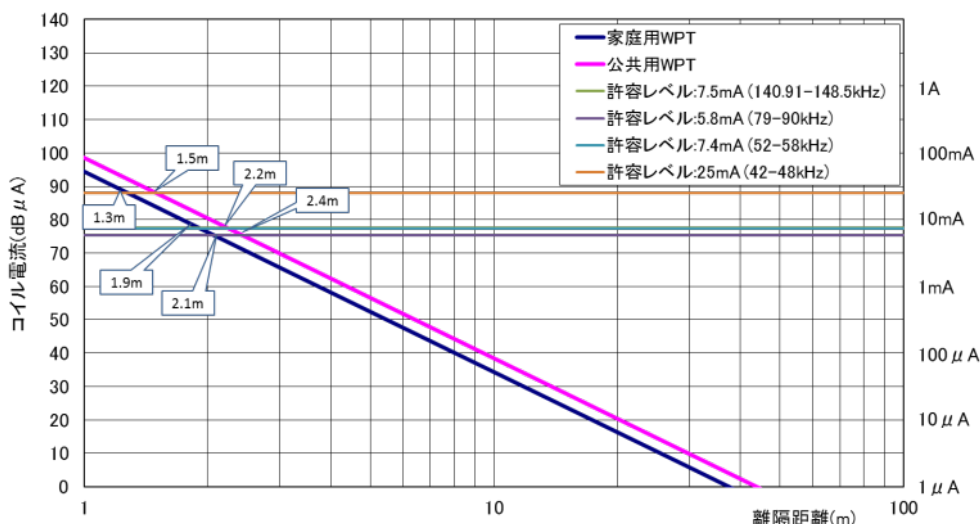



図 3.3.1-14　モデル 1 の場合の同一磁界強度になる離隔距離と
1ターンループコイルに流す電流値の関係グラフ

　図 3.3.1-14 から家庭用 WPT との所要離隔距離は、42kHz 以上 48kHz 以下の帯域では 1.3m、52kHz 以上 58kHz 以下の帯域では 1.9m、79kHz 以上 90kHz 以下の帯域では 2.1m、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下の帯域では 1.9m であることが分かる。
　図 3.3.1-14 から公共用 WPT との所要離隔距離は、42kHz 以上 48kHz 以下の帯域では 1.5m、52kHz 以上 58kHz 以下の帯域では 2.2m、79kHz 以上 90kHz 以下の帯域では 2.4m、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下では 2.2m であることが分かる。
　この結果のうち､家庭用 WPT を 79kHz 以上 90kHz 以下の帯域で使用した場合の机上検討結果を、モデル 1 に当てはめたときの模式図を図 3.3-15 に示す。鉄道建築限界の 1.9m に対して 0.2m 超えている。

モデル1（家庭用WPT:79-90kHz）
所要離隔距離2.1m
水平距離2.1m

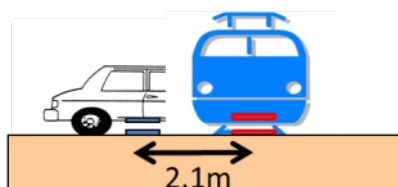



図 3.3.1-15　モデル 1 の場合の所要離隔距離の関係図

　同様に、モデル 2,3,4 のときの電気自動車用 WPT（公共用）の場合で、30m 離れた場所の z 軸方向の漏えい磁界は、82.2μA/m (=38.3dBμA/m = 43.9-5.6) であり、同

等の磁界となる１ターンループコイルに流れる電流は 51.4μA(34.2dBμA)である。
また、電気自動車用 WPT（家庭用）の場合で、30m 離れた場所の z 軸方向の漏えい磁界は、51.3μA/m (=34.2dBμA/m = 39.8-5.6)であり、同等の磁界となる１ターンループコイルに流れる電流は 32.1μA (30.1dBμA) である。
離隔距離を変動させたときの、１ターンループコイルに流す電流値を、距離減衰 3 乗則を適用して求め、信号保安設備の許容電流値（実効値）と併せて図 3.3.1-16 に示す。

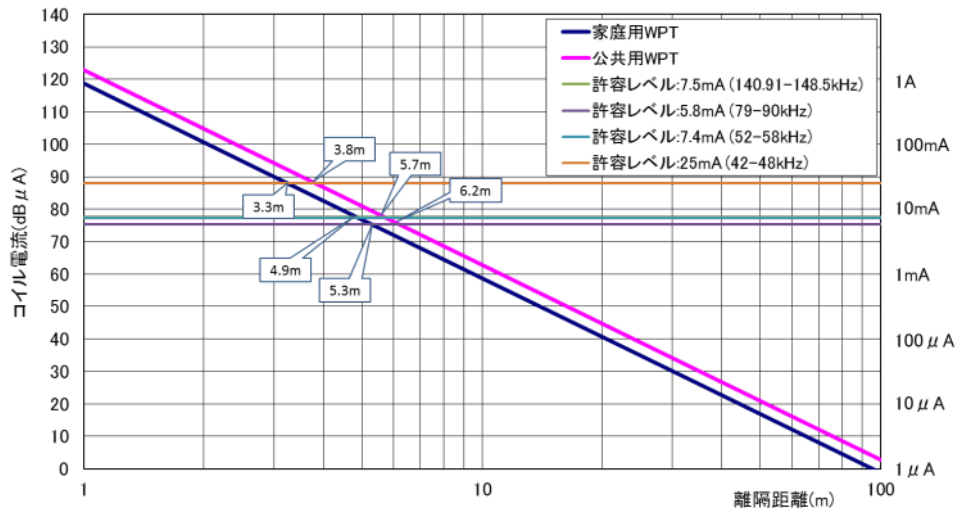



図 3.3.1-16　モデル 2,3,4 の場合の同一磁界強度になる離隔距離と
１ターンループコイルに流す電流値の関係グラフ

図 3.3.1-16 から家庭用 WPT との所要離隔距離は、42kHz 以上 48kHz 以下の帯域では 3.3m、52kHz 以上 58kHz 以下の帯域では 4.9m、79kHz 以上 90kHz 以下の帯域では 5.3m、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下の帯域では 4.9m であることが分かる。
モデル 2、3 及び 4 の場合最短距離方向は斜め方向となるため水平方向又は垂直方向の所要離隔距離は、42kHz 以上 48kHz 以下の帯域では 2.8m、52kHz 以上 58kHz 以下の帯域では 4.2m、79kHz 以上 90kHz 以下の帯域では 4.6m、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下の帯域では 4.2m である。
図 3.3.1-16 から公共用 WPT との所要離隔距離は、42kHz 以上 48kHz 以下の帯域では 3.8m、52kHz 以上 58kHz 以下の帯域では 5.7m、79kHz 以上 90kHz 以下の帯域では 6.2m、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下の帯域では 5.7m であることが分かる。
モデル 2、3 及び 4 の場合最短距離方向は斜め方向となるため水平方向又は垂直方向の所要離隔距離は、42kHz 以上 48kHz 以下の帯域では 3.3m、52kHz 以上 58kHz 以下の帯域では 4.9m、79kHz 以上 90kHz 以下の帯域では 5.3m、140.91kHz 以上 148.5kHz 以下の帯域では 4.9m である。
この結果のうち、家庭用 WPT を 79kHz 以上 90kHz 以下の帯域で使用した場合の机上検討結果を、モデル 2～4 に分けて図 3.3.1-17、図 3.3.1-18、図 3.3.1-19 に示す。
モデル 2 の場合、鉄道建築限界の 1.9m に対して 2.7m 超えている。
モデル 3 の場合、鉄道建築限界は定められていない。
モデル 4 の場合、直流電化区間の鉄道建築限界の 4.9m 以下であるので、共用できる可能性がある。非電化区間の鉄道建築限界の 4.3m に対しては 0.3m 超えている。

モデル2（家庭用WPT:79-90kHz）
所要離隔距離5.3m
水平距離4.6m
5.3m
2.7m
4.6m
ただし、構造物(鉄筋コンクリ)の遮蔽損は含めていない

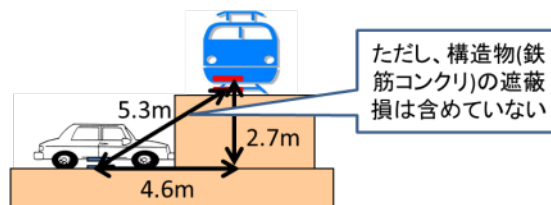



図 3.3.1-17　モデル 2 の場合の所要離隔距離の関係図

図 3.3.1-18　モデル 3 の場合の所要離隔距離の関係図

モデル4（家庭用WPT:79-90kHz）
所要離隔距離5.3m
高さ距離4.6m
2.7m
4.6m
5.3m
ただし、構造物(鉄筋コンクリ)の遮蔽損は含めていない

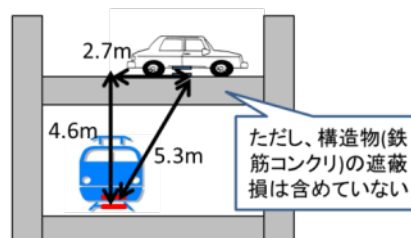



図 3.3.1-19　モデル 4 の場合の所要離隔距離の関係図

(4) 検討結果

電気自動車用 WPT と信号保安設備との共用条件を机上で検討するに当たっては、鉄筋コンクリート等の干渉を遮るものが無い状態を想定して、所要離隔距離を計算した。共用条件としては、以下のとおりとした。

ｉ）WPT で使用する周波数と鉄道設備が使用する周波数が重ならない。

又は

ⅱ）所要離隔距離が、鉄道設備における建築限界内に入っている（干渉が起きる距離が、鉄道事業者の関与なく WPT を置くことができない位置である）。

(ア)42kHz 以上 48kHz 以下

家庭用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は 2.8m である。

公共用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は 3.3m である。

(イ)52kHz 以上 58kHz 以下

家庭用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は4.2m である。

公共用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は4.9m である。

(ウ)79kHz 以上 90kHz 以下

家庭用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は4.6m である。

公共用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は5.3m である。

(エ)140.91kHz 以上 148.5kHz 以下

家庭用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は4.2m である。

公共用 WPT の場合、信号保安設備に影響を与えない水平方向の最大離隔距離は4.9m である。

以上の検討結果から明らかなように、上記の離隔距離は建築限界（1.5m～1.9m）を超えており、現在対象となっている WPT 装置の開発状況においては、共存は困難と考えられる。しかしこの判断は離隔距離に依存したものであり、WPT の設置において必要な離隔距離を確保するための法的な規制等により共存が可能となるケースも考えられる。

3.3.2　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器）

検討対象となる信号保安設備には、その耐妨害特性が模擬ノイズ源である 1m×1m の1ターンループコイルに流れる妨害電流値で規定できるものと、その耐妨害特性がレールに流れる妨害電流値で規定できるものとが存在する。

１．耐妨害特性が模擬ノイズ源である 1m×1m の 1 ターンループコイルに流れる妨害電流値で規定できるもの

(1) 検討の進め方

家電機器用 WPT②について、前述の電気自動車用 WPT と比較すると、その出力は電界強度で約 50 分の 1 である。このため電気自動車 WPT に対する検討で行ったような干渉緩和要素は取り入れず、計算は最大レベルになる条件で以下のように電気自動車用 WPT に対する検討に準じた方法を用いて検討を行った。

信号保安設備については、JIS E 3005（変周式自動列車停止装置の試験方法）を参考に、模擬雑音源である 1m×1m の１ターンループコイルに電流を流し、車上信号保安設備に近づけたときに、車上信号保安設備が検知又は誤動作する場合の１ターンループコイルの電流レベルを判定の基準値として用いた。1 ターンループコイルにどの程度の電流を流すと、 WPT 機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかについて、離隔距離をパラメータとして計算した。これを基に、家電機器用 WPT②からの漏えい磁界による影響を受けなくなるために必要な離隔距離を算出した。所要離隔距離の算出に当たっては、家電機器用 WPT②からの漏えい磁界が最も大きくなるケースを選定した。

(2) 干渉検討モデル

検討を行った干渉検討モデルを以下に示す。家電機器用 WPT②が屋内で使用されるケースを想定し、家屋による壁損失等は考慮していない。

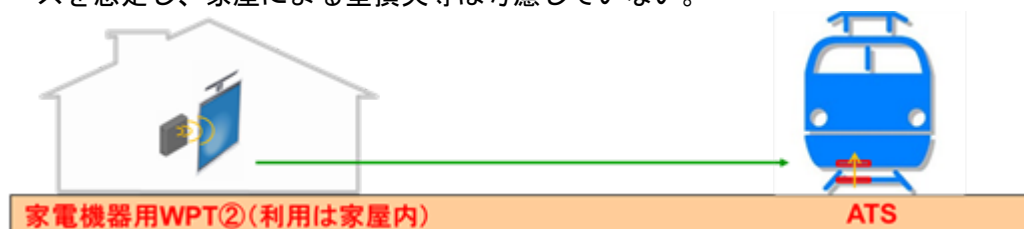



図 3.3.2-1 家電機器用 WPT②と信号保安設備の干渉検討モデル

(3) 干渉計算

家電機器用 WPT②から信号保安設備への影響計算方法として、1 ターンループコイルに 1mA の電流を流したときに生じる磁界を計算機シミュレーションで計算し、1m×1m のノイズ源 1 ターンループコイルに 1mA の電流を流したときに、コイル上部 100mm に生じる磁界を計算する。1 ターンループコイル(ノイズ源コイル)にどの程度の電流を流すと、 WPT 機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかを、離隔距離をパラメータとして計算し、上述の結果を使用し離隔距離(WPT 機器と信号保安設備受信機の距離)ごとに、WPT からの漏えい磁界と同等の磁界を生じる 1 ターンループコイルの電流値を計算しグラフ化する。次に、1 ターンループコイルに 1mA(実効値)を流したときに生じる磁界の値として、1.6mA/m(実効値)を採用して、次のステップのグラフを計算する。

なお、現在使用されている車上信号保安設備の耐妨害特性の電流値(実効値)については、20.05-38kHz の帯域で 6mA、42-58kHz の帯域で 7.4mA 以上、62-100kHz の帯域で 5.8mA とした。【暫定値】

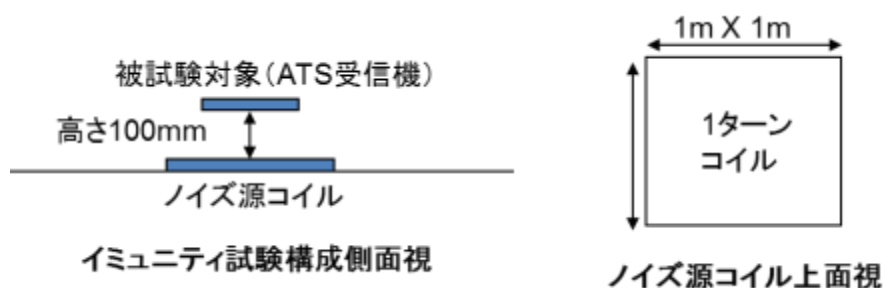



図 3.3.2-2　1 ターンループコイルと信号保安設備受信機モデル

(4) 検討結果

30m 離れた場所の漏えい磁界は、 2.7μA/m (8.5dBμA/m)であり、同等磁界となる 1 ターンループコイルに流れる電流は 1.7μA(4.4dBμA)である。離隔距離を変動させたときの、1 ターンループコイルに流す電流値を距離減衰 3 乗則を適用して求め、信号保安設備の許容電流値(実効値)との関係を図 3.3.2-3 に示した。その結果、所要離隔距離は表 3.3.2-1 に示すように 2.0m となった。

なお、共用条件としては、以下のとおりとした。

ⅰ) WPT で使用する周波数と鉄道設備が使用する周波数が重ならない。
又は
ⅱ) 所要離隔距離が、鉄道設備における建築限界内に入っている(干渉が起きる距離が、鉄道事業者の関与なく WPT を置くことができない位置である)。

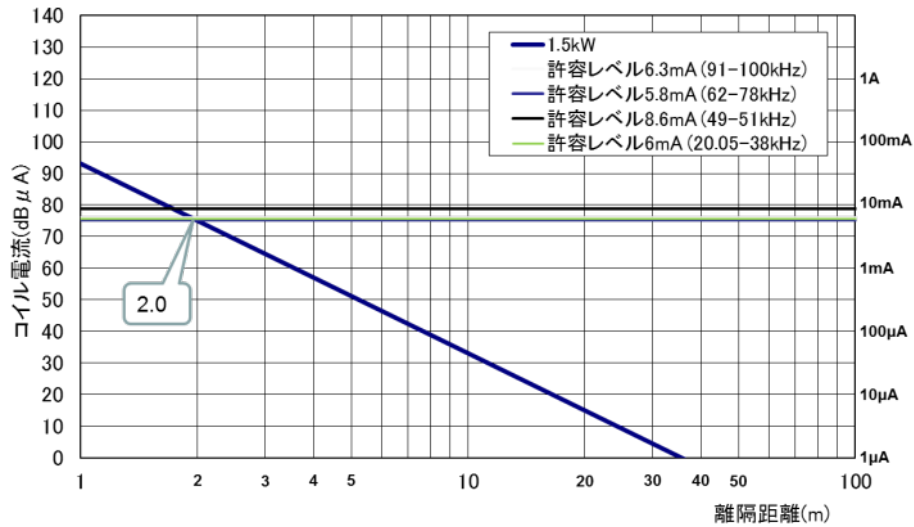



図 3.3.2-3　信号保安設備の許容電流値（実効値）と所要離隔距離

表 3.3.2-1　緩和要素無しの場合の所要離隔距離

家電機器用 WPT　1.5kW			信号保安設備許容干渉レベル			共用可能な離隔距離
バンド	最大放射磁界レベル@30m		コイルに流れる電流（許容電流）	許容干渉レベル（磁界強度）		
	(mA/m)	(dBμA/m)	(mA)	(mA/m)	(dBμA/m)	(m)
20.05~38kHz	0.003	8.5	6.0	9.6	79.6	**2.0**
42~58kHz	0.003	8.5	7.4	11.8	81.4	**1.9**
62~100kHz	0.003	8.5	5.8	9.3	79.4	**2.0**

以上の検討結果から明らかなように、上記の離隔距離は建築限界（1.5m～1.9m）を超えており、現在対象となっている WPT 装置の開発状況においては、共用は困難と考えられる。しかしこの判断は離隔距離に依存したものであり、WPT の設置において必要な離隔距離を確保するための法的な規制等により共用が可能となるケースも考えられる。

２．耐妨害特性がレールに流れる妨害電流値で規定できるもの

（1）検討の進め方

（検討中）

（2）干渉検討モデル

（検討中）

（3）干渉計算

（検討中）

(4) 検討結果

（検討中）

3.3.3　家電機器用 WPT③

(1) 検討の進め方

計算は最大レベルになる条件で、以下のように電気自動車用 WPT 及び家電機器用 WPT②に対する検討に準じた方法を用いて検討を行った。

信号保安設備については、JIS E 3005（変周式自動列車停止装置の試験方法）を参考に、模擬雑音源である 1m×1m の１ターンループコイルに電流を流し、車上信号保安設備に近づけたときに、車上信号保安設備が検知又は誤動作する場合の１ターンループコイルの電流レベルを判定の基準値として用いた。1 ターンループコイルにどの程度の電流を流すと、 WPT 機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかについて、離隔距離をパラメータとして計算した。これを基に、家電機器用 WPT③からの漏えい磁界による影響を受けなくなるために必要な離隔距離を算出した。所要離隔距離の算出に当たっては、家電機器用 WPT③からの漏えい磁界が最も大きくなるケースを選定した。

(2) 干渉検討モデル

検討を行った干渉検討モデルを以下に示す。家電機器用 WPT③が屋内で使用されるケースを想定し、家屋による壁損失等は考慮していない。

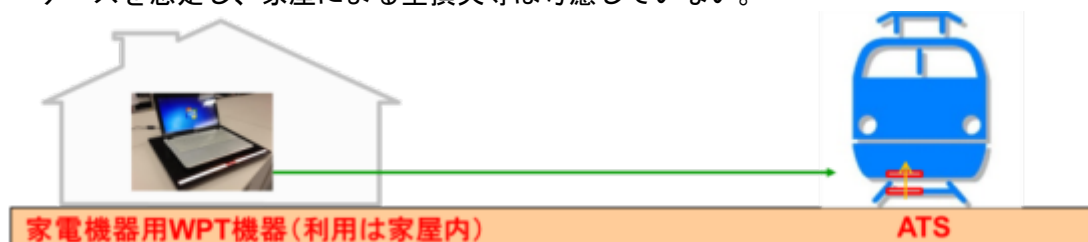



図 3.3.3-1 家電機器用 WPT③と信号保安設備の干渉検討モデル

(3) 干渉計算

家電機器用 WPT③から信号保安設備への影響計算方法として、1 ターンループコイルに 1mA の電流を流したときに生じる磁界を計算機シミュレーションで計算し、1m ×1m のノイズ源 1 ターンループコイルに 1mA の電流を流したときに、コイル上部 100mm に生じる磁界を計算する。 1 ターンループコイル（ノイズ源コイル）にどの程度の電流を流すと、 WPT 機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかを、離隔距離をパラメータとして計算し、上述の結果を使用し離隔距離（WPT 機器と信号保安設備受信機の距離）ごとに、WPT からの漏えい磁界と同等の磁界を生じる 1 ターンループコイルの電流値を計算しグラフ化する。次に、1 ターンループコイルに 1mA（実効値）を流したときに生じる磁界の値として、1.6mA/m（実効値）を採用して、次のステップのグラフを計算する。

なお、現在使用されている車上信号保安設備の耐妨害特性の電流値（実効値）については、425-524kHz の帯域で 0.35mA とした。【暫定値】

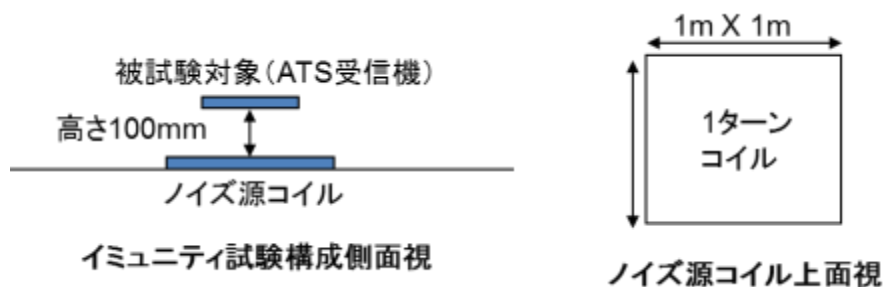



図 3.3.3-2　１ターンループコイルと信号保安設備受信機モデル

(4) 検討結果

30m 離れた場所の漏えい磁界は、 2.7μA/m (8.5dBμA/m) であり、同等磁界となる 1 ターンループコイルに流れる電流は 1.7μA (4.4dBμA) である。離隔距離を変動させたときの、1ターンループコイルに流す電流値を距離減衰3乗則を適用して求め、信号保安設備の許容電流値（実効値）との関係を図 3.3.3-3 に示した。その結果、所要離隔距離は表 3.3.3-1 に示すように 2.3m となった。

なお、共用条件としては、以下のとおりとした。

ｉ）WPT で使用する周波数と鉄道設備が使用する周波数が重ならない。

又は

ⅱ）所要離隔距離が、鉄道設備における建築限界内に入っている（干渉が起きる距離が、鉄道事業者の関与なく WPT を置くことができない位置である）。

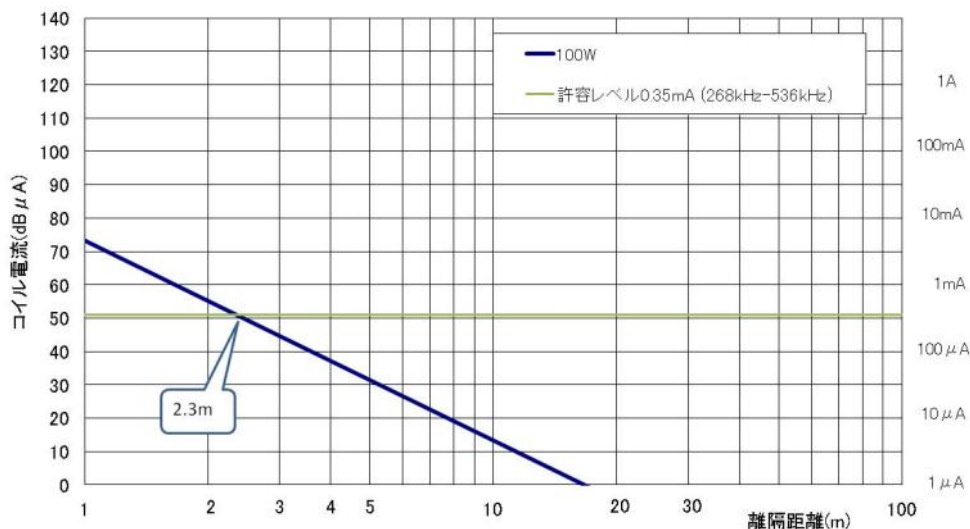



図 3.3.3-3　信号保安設備の許容電流値（実効値）と所要離隔距離

表 3.3.3-1　緩和要素無しの場合の所要離隔距離

家電機器用 WPT　100W			信号保安設備許容干渉レベル			共用可能な離隔距離
バンド	最大放射磁界レベル@30m		コイルに流れる電流（許容電流）	許容干渉レベル（磁界強度）		
	(mA/m)	(dBμA/m)	(mA)	(mA/m)	(dBμA/m)	(m)
425-524kHz	0.0003	-11.5	0.35	0.6	55.0	**2.3**

以上の検討結果から明らかなように、上記の離隔距離は建築限界（1.5m～1.9m）を超えており、信号保安設備との共用条件を満たすためには、WPT から放射される磁界強度を 10dB 以上減衰させる必要がある。現在対象となっている WPT 装置の開発状況においては、共存は困難と考えられる。しかしこの判断は離隔距離に依存したものであり、WPT の設置において必要な離隔距離を確保するための法的な規制等により共存が可能となるケースも考えられる。

3.4　列車無線等：誘導式列車無線との共用検討

誘導式列車無線との周波数共用検討についても、信号保安設備と同様に、電技協が設置した「WPT と鉄道設備共存検討会」において、BWF、鉄道事業者、関連メーカ、公益財団法人鉄道総合技術研究所が参加して実施した。検討対象となる WPT システムは、電気自動車用 WPT 及び家電機器用 WPT②である。

(1) 誘導式列車無線の概要

誘導式列車無線は、図 3.4-1 に示すように、線路に沿って設置された誘導線と列車の車上に設置されたアンテナとの間で通信を行う高周波利用設備である。本設備は、地上の指令員と列車の乗務員との間で安全・安定運行のために必要な指示・情報の伝達を行うためのものであり、鉄道に関する技術上の基準を定める省令（平成 13 年 12 月 25 日国土交通省令第 151 号）上の保安用通信設備として位置付けられている。

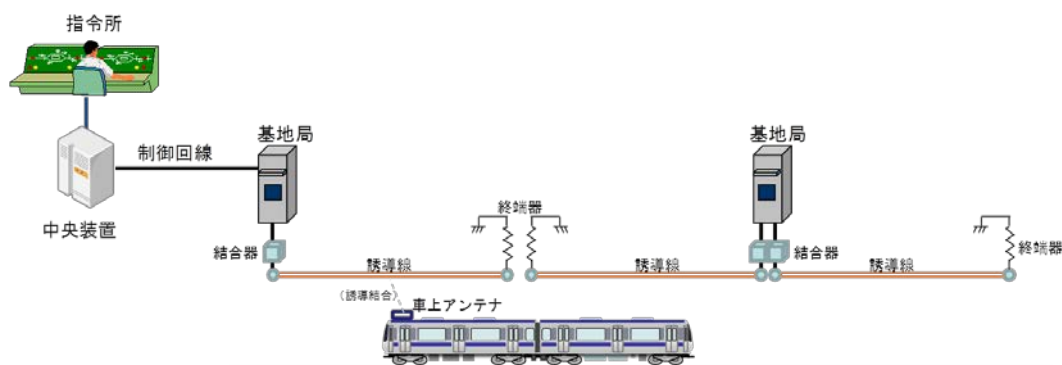



図 3.4-1　誘導式列車無線システムの概要

誘導式列車無線は、地上の誘導線と車上アンテナと間の電磁的な結合方式によって、直接結合式と間接結合式に大きく分けることができる。直接結合方式については、図 3.4-2 に示すように、車上アンテナが列車の側面に設置された側面式、車上アンテナが列車の下部に設置された床下式、車上アンテナが列車の下部の側面に設置された床下側面式、車上アンテナが列車の上部に設置された屋根上水平式の 4 通りの結合形態が存在する。また、間接結合方式では、電車に駆動用の電力を供給するき電線を経由して結合を行っている。

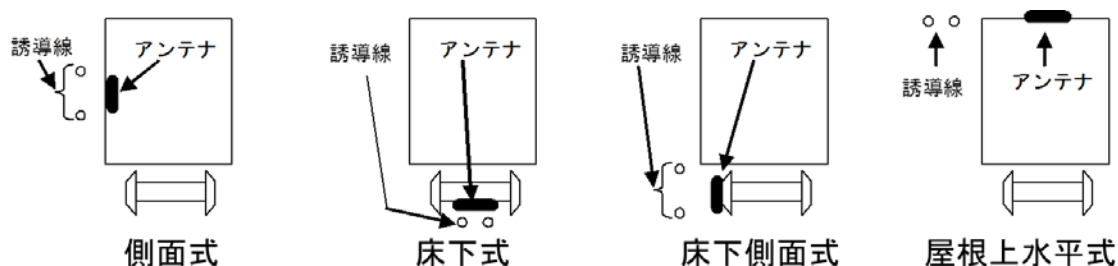



図 3.4-2　誘導式列車無線システムの結合形態（直接結合方式）

3.4.1　電気自動車用 WPT

(1) WPT 使用周波数域における誘導式列車無線の利用状況

電気自動車用 WPT が使用を予定している周波数域を対象として、当該の帯域内で利用されている誘導式列車無線の使用周波数を調査した。調査結果を図 3.4.1-1 に示す。誘導式列車無線が一般的に使用している周波数帯は 100kHz 以上 250kHz 以下でるが、

80kHz 及び 92kHz の周波数帯において、国内では単一の線区で誘導式列車無線が運用されている。

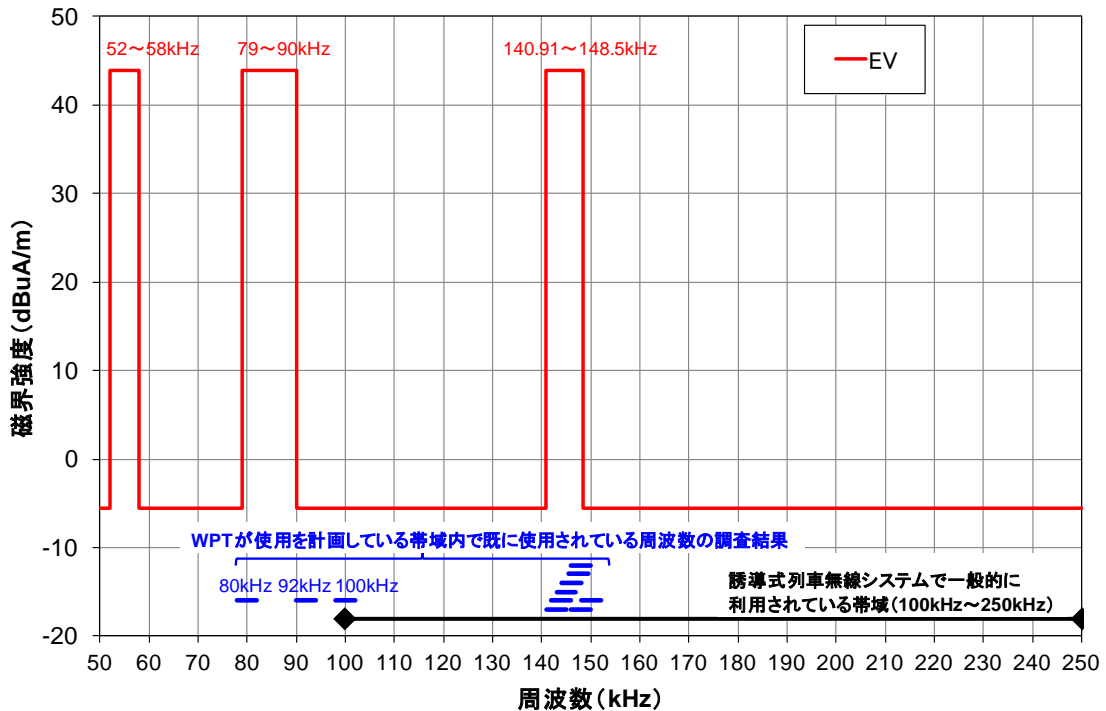



図3.4.1-1　WPTの使用周波数と誘導式列車無線の使用周波数との関係

(2) 所要離隔距離の計算方法

(1)で述べたこれらの周波数の使用状況を踏まえ、WPT からの帯域内放射による誘導式列車無線への影響を検討するに当たっては、対象周波数として 80kHz 及び 145kHz を選定し、WPT からの帯域外放射による誘導式列車無線への影響を検討するに当たっては、対象周波数として 130kHz 及び 245kHz を選定した。

空間条件として、自由空間を仮定し、列車の車体等の周囲の地物の影響は無視した。

放射源となる WPT システムが微小ループであると仮定し、当該微小ループにより WPT システムの目標漏えい磁界強度を生じる場合に微小ループに流れる電流相当値を算出した。当該微小ループに流れる電流相当値から、誘導線又は車上アンテナに相当する受信側ループにおける磁界強度を計算した。続いて、受信側ループにおける磁界強度の計算値から、空中線の端子に発生する開放端電圧を求め、インピーダンス整合回路での電圧変換比を補正して受信機入力電圧の距離特性を算出した。この受信機入力電圧の距離特性を基に、スケルチレベル 50dBμV/m に対して 20dB のマージンを考慮した許容受信機入力電圧を超えない距離を算出し、所要離隔距離とした。

(3) 干渉検討モデル

最悪条件を想定し、誘導式列車無線システムの結合形態として側面式を採用し、図 3.4.1-2 に示すように、放射源に相当する WPT システム、誘導線及び車上アンテナが一直線上に並ぶモデルを使用した。WPT システムと誘導線との間の距離をパラメータ「d」とし、誘導線と車上アンテナとの間の距離は 0.6m とした。

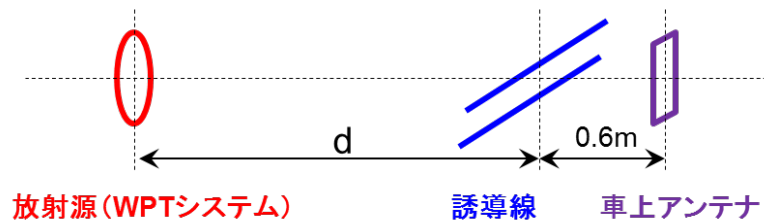



図 3.4.1-2　干渉検討モデル

また、図 3.4.1-3 に示すように、微小ループからの距離が r、z 軸から y 軸方向への角度が θ、x 軸から y 軸への角度が ϕ である地点における磁界は、式 3.4.1-1、式 3.4.1-2 及び式 3.4.1-3 で与えられる。

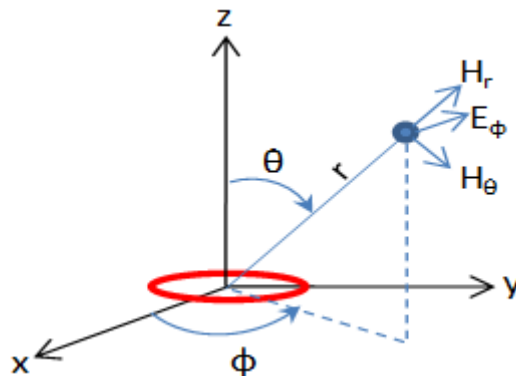



図 3.4.1-3　微小ループによる磁界の計算モデル

$$H_r = \frac{I \cdot S}{2\pi} e^{-jkr} \left(\frac{1}{r^3} + j\frac{k}{r^2} \right) \cos\theta \qquad \cdot\cdot\cdot（式 3.4.1-1）$$

$$H_\theta = \frac{I \cdot S}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{1}{r^3} + j\frac{k}{r^2} - \frac{k^2}{r} \right) \sin\theta \qquad \cdot\cdot\cdot（式 3.4.1-2）$$

$$E_\varphi = -\frac{j\omega\mu I \cdot S}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{1}{r^2} + j\frac{k}{r} \right) \sin\theta \qquad \cdot\cdot\cdot（式 3.4.1-3）$$

ただし、I は微小ループによる電流、S は微小ループの面積、k は波数、μ は透磁率、ω は角周波数である。図 3.4.1-2 に示すように、放射源に相当する WPT システム、誘導線及び車上アンテナが一直線上に並ぶモデルを使用した場合は、θ=0 となる。

また、開放端電圧については、$\omega\mu SN|H|$ により求め、終端電圧に換算した。ただし、N はループのターン数、H はループと交差する磁界強度である。誘導線については、S=1 ㎡、N=1 ターン、インピーダンス整合回路での電圧変換比を 600Ω:75Ωとした。車上アンテナ（130kHz、145kHz、245kHz）については、S=1.3 ㎡、N=10 ターン、インピーダンス整合回路での電圧変換比を 400Ω:75Ωとした。車上アンテナ（80kHz）については、S=0.076 ㎡、N=66 ターン、インピーダンス整合回路での電圧変換比を 400Ω:75Ωとした。

(4)　所要離隔距離の計算結果

前述の前提条件のもとで、WPT からの帯域内放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における WPT システムと誘導線との間の離隔距離に対する磁界強度の

関係は、図 3.4.1-4 のとおりである。

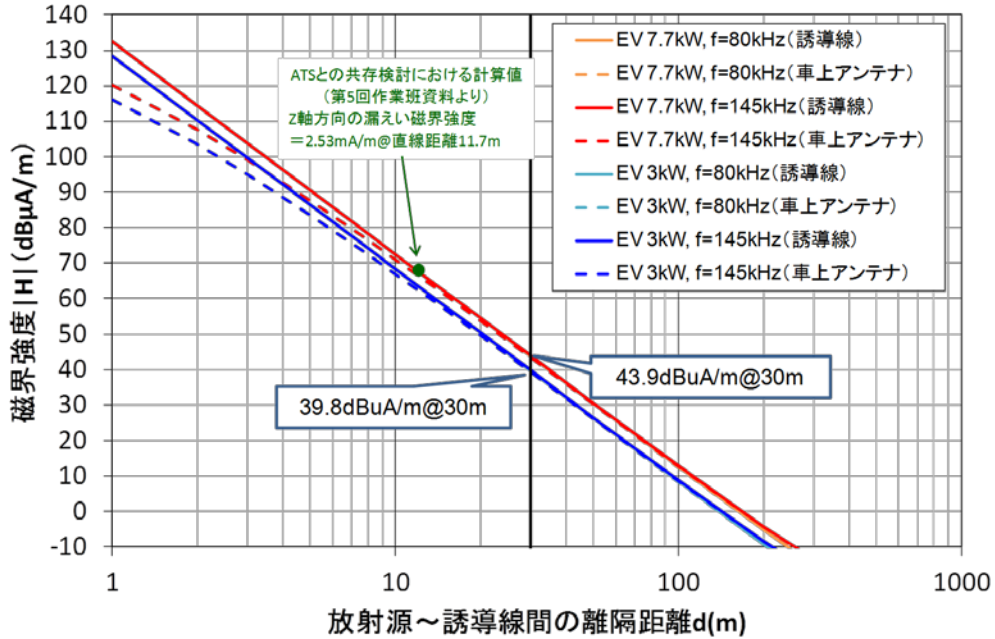



図 3.4.1-4　磁界強度の計算結果（電気自動車用 WPT・帯域内放射）

また、WPT からの帯域外放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における WPT システムと誘導線との間の離隔距離に対する磁界強度の関係は、図 3.4.1-5 のとおりである。

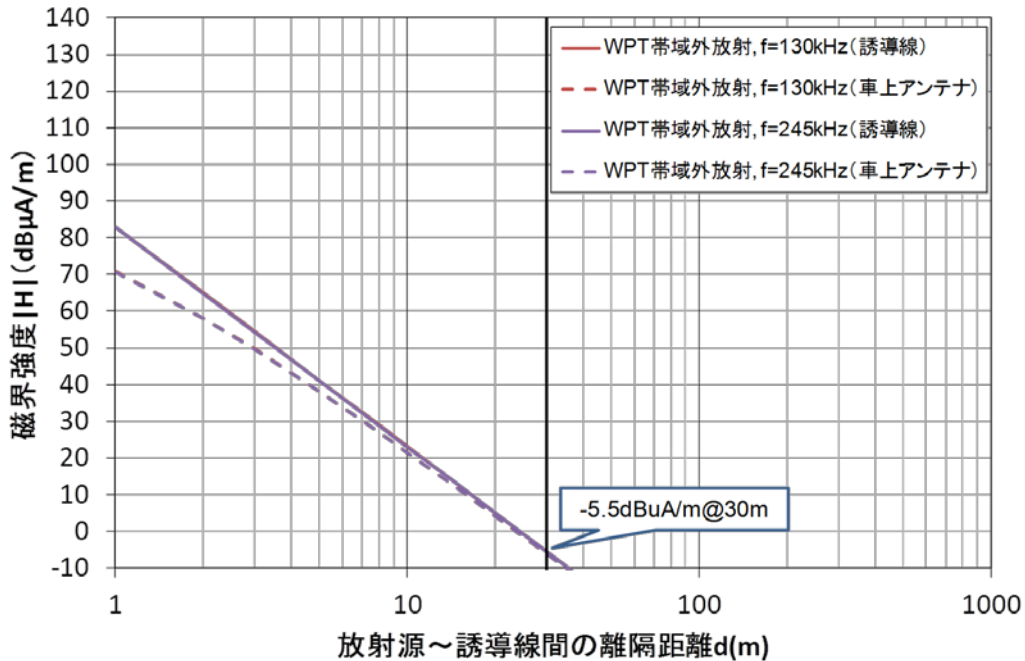



図 3.4.1-5　磁界強度の計算結果（電気自動車用 WPT・帯域外放射）

これらの計算結果を用いて、WPT からの帯域内放射による誘導式列車無線への影響

を検討する場合における所要離隔距離は、図 3.4.1-6 のとおり算出される。

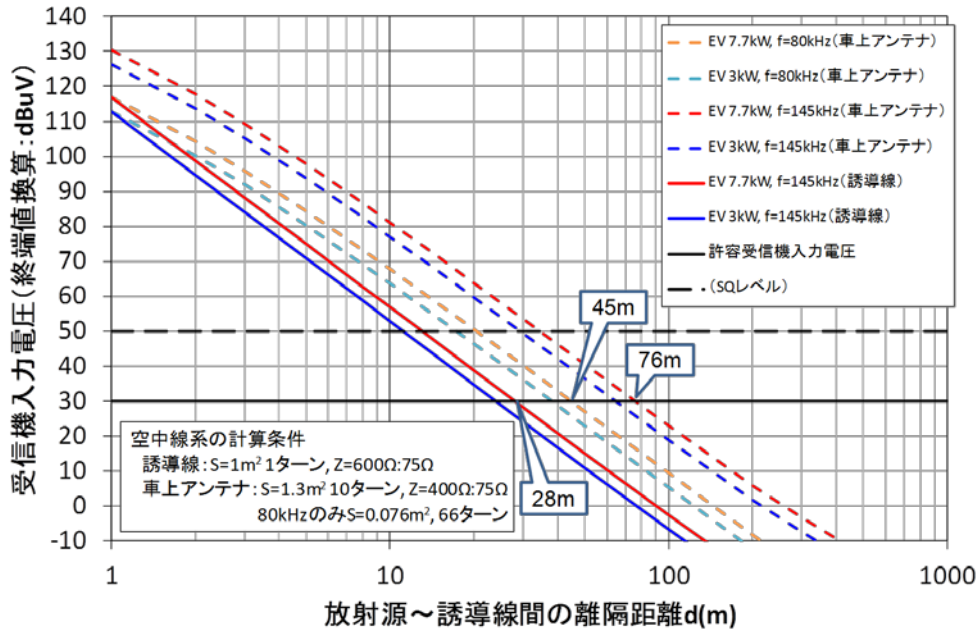



図 3.4.1-6　所要離隔距離の計算結果（電気自動車用 WPT・帯域内放射）

また、WPT からの帯域外放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における所要離隔距離は、図 3.4.1-7 のとおり算出される。

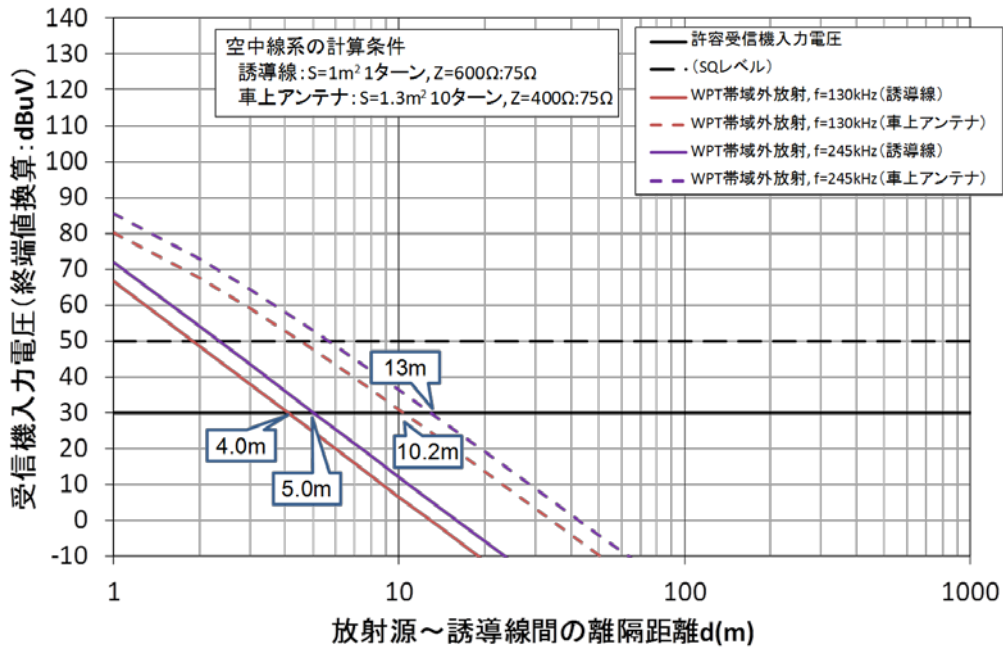



図 3.4.1-7　所要離隔距離の計算結果（電気自動車用 WPT・帯域外放射）

(5)　共用条件の検討

(4)で示した所要離隔距離の計算は、図 3.4.1-8 に示すようなモデルで得られたも

のである。

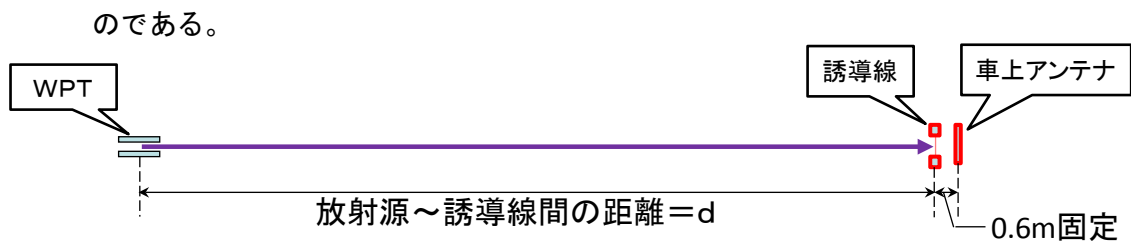



図 3.4.1-8 計算上のモデル

本節では、図 3.4-2 に示した各結合方式に対し、現実に存在しうる配置関係を想定し、WPT と誘導式列車無線との距離 d を整理した。各方式ごとの結果を、図 3.4.1-9～図 3.4.1-14 示す。

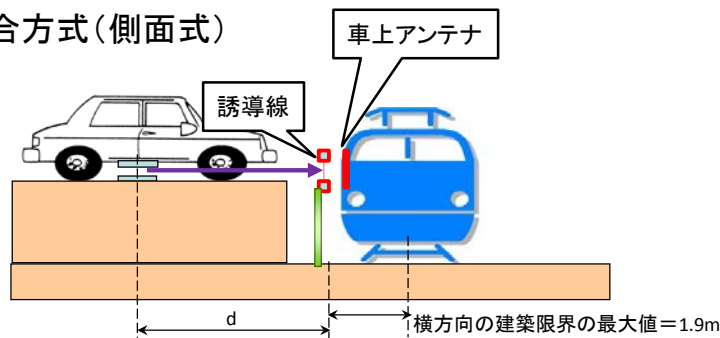
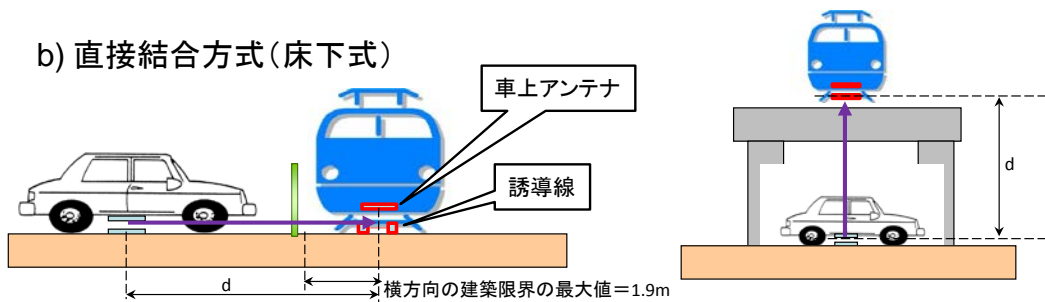
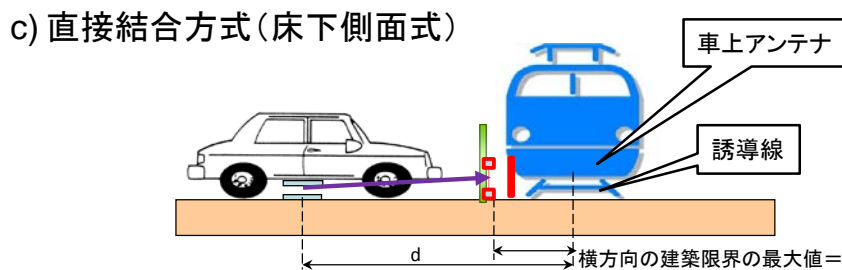
干渉計算における判断基準として、建築限界との比較を行っている。建築限界とは、鉄道車両が安全に線路を走行できるよう、車両と建造物等との接触を防ぐために設定されている空間であり、鉄道事業者では、建築限界内に建造物等が入らないよう、日常的に管理を行っている。建築限界の大きさは鉄道事業者や線区によって異なり、1.5m や 1.8m といった値が設定されている場合があるが、ここでは、ＪＲの在来線で設定されている建築限界の値（1.9m）を想定した。また、実際の使用場面においてWPT が建築限界の内側に置かれることがあるか否かを検討するため、建築限界の最小値ではなく、一般的に最も大きいと考えられる値を使用した。

○誘導線は建築限界の外にあり、多くは鉄道敷地境界付近に敷設されている。
→ d が1.9m以下となる可能性が排除できない。
○車体や鉄道敷地境界のフェンス等による遮蔽効果がある。
→ 車体とフェンス等の減衰だけで許容できる受信電圧まで低減できる可能性が不明。

図 3.4.1-9 直接結合方式（側面式）の場合

b) 直接結合方式(床下式)

○誘導線は軌道内にある。
　→ d が1.9m以内になることはないと想定できる。
○車体や鉄道敷地境界のフェンス、構造物等による遮蔽効果がある。
　→ 車体とフェンス、構造物等の減衰だけで許容できる受信電圧まで低減できる可能性が不明。

図 3.4.1-10 直接結合方式（床下式）の場合

c) 直接結合方式(床下側面式)

○誘導線は建築限界の外にあり、多くは鉄道敷地境界付近に敷設されている。
　→ d が1.9m以下となる可能性が排除できない。
○車体や鉄道敷地境界のフェンス等による遮蔽効果がある。
　→ 車体とフェンス等の減衰だけで許容できる受信電圧まで低減できる可能性が不明。

図 3.4.1-11 直接結合方式（床下側面式）の場合

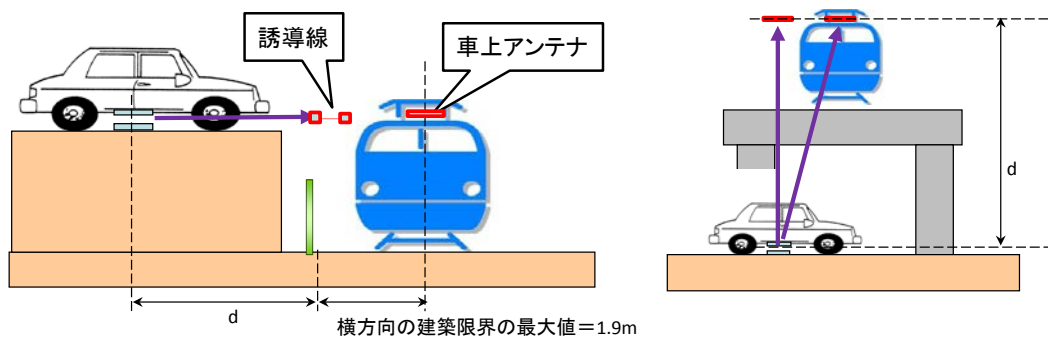
d) 直接結合方式(屋根上平面式)

○誘導線は建築限界の外にあり、多くは鉄道敷地境界付近に敷設
　されている。
　→ d が1.9m以下となる可能性が排除できない。
○車体や鉄道敷地境界のフェンス、構造物等による遮蔽効果がある。
　→ 車体とフェンス等の減衰だけで許容できる受信電圧まで低減
　　できる可能性が不明。

図 3.4.1-12 直接結合方式（屋根上平面式）の場合

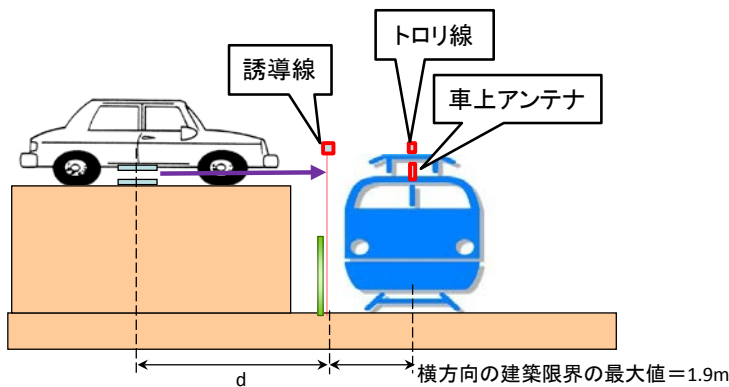
e) 間接結合方式

○誘導線は建築限界の外にあり、多くは鉄道敷地境界付近に敷設されている。
　→d が1.9m以下となる可能性が排除できない。
○車体や鉄道敷地境界のフェンス等による遮蔽効果がある。
　→車体とフェンス等の減衰だけで許容できる受信電圧まで低減できる可能性が不明。
○間接結合方式では、地上側のループ面は誘導線と大地間で構成される。
　→放射される磁界と交差する面積が増え、受信電圧が上昇する可能性。

図 3.4.1-13 間接結合方式の場合

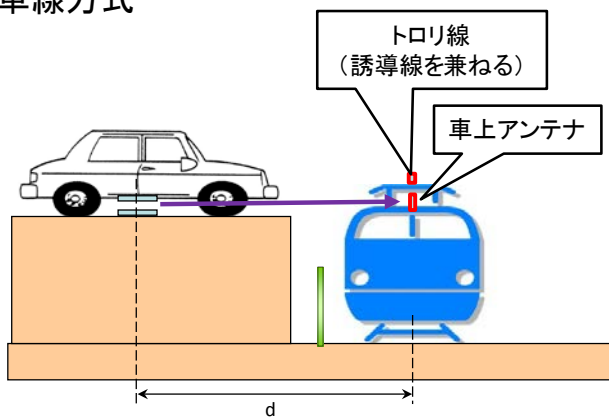
f) 電車線方式

○誘導線は軌道内にある。
　→d が1.9m以内になることはないと想定できる。
○車体や鉄道敷地境界のフェンス等による遮蔽効果がある。
　→車体とフェンス等の減衰だけで許容できる受信電圧まで低減できる可能性が不明。
○電車線方式では、地上側のループ面はトロリ線と大地間で構成される。
　→放射される磁界と交差する面積が増え、受信電圧が上昇する可能性。

図 3.4.1-14 電車線方式の場合

なお、80kHz 帯については、誘導式列車無線として利用している線区が単一であることから、当該の線区における結合方式に基づいて、所要離隔距離の再計算を行った。想定される位置関係の条件を図 3.4.1-15 に、また図 3.4.1-15 の条件の下で離隔距離

dを変えた場合の受信電圧の計算結果を図 3.4.1-16 に示す。

○当該の線区は電車線を誘導線として使う方式のため、誘導線・車上アンテナとも車両の中心線上にある。
→水平離隔距離 が1.9m以内になることはないと想定できる。
※軌間が1067mmのため、在来線鉄道と同じ建築限界と仮定

○車上アンテナのループ面は上向き方向である。
→放射された磁界が地面で遮蔽されず、かつ車上アンテナのループ面と交差する角度が大きくなる配置として、右図のような条件を仮定し、dを変えたときの受信電圧を計算する。
（このとき、アンテナのループ面と磁界の交差角度は64.5°、dは最短で約4.4mとなる）

○車体や家屋等による遮蔽効果が考えられるが、本モデルは損失はないものと仮定する。

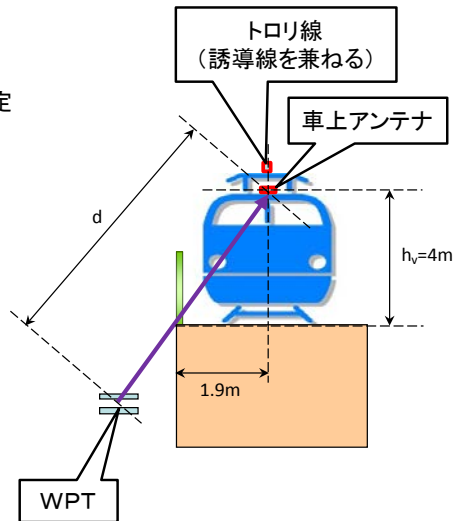



図 3.4.1-15 80kHz 帯を使用している誘導式列車無線における位置関係の例

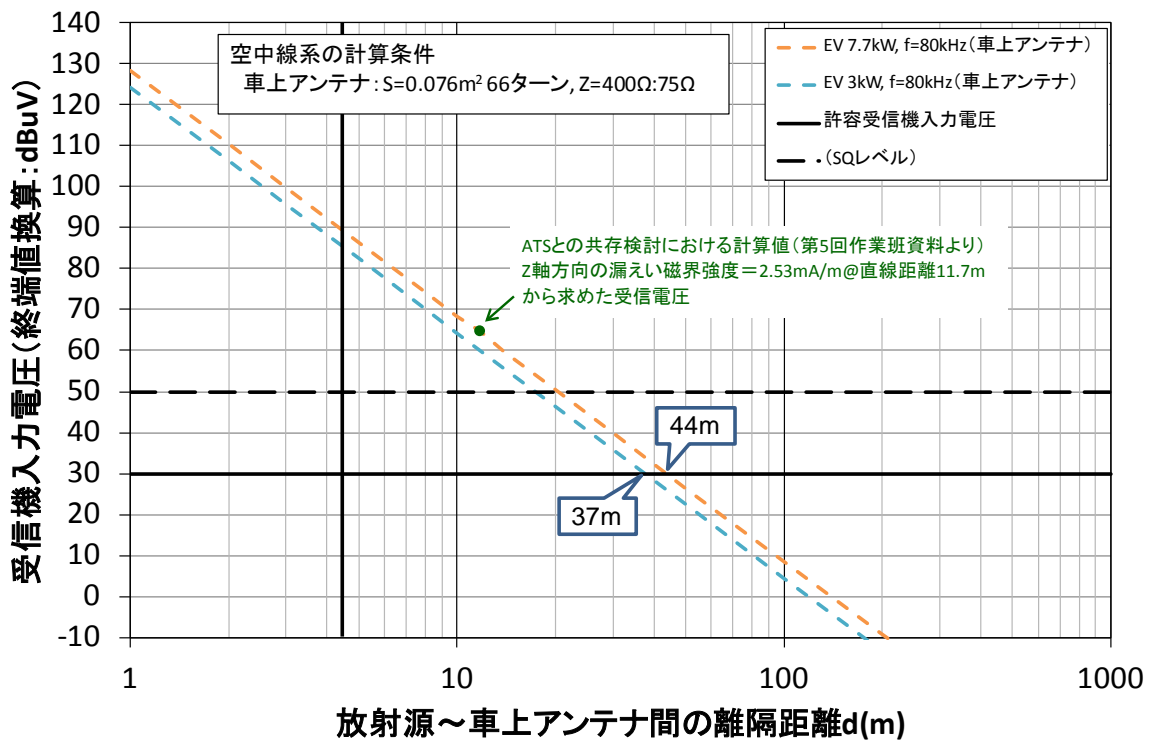



図 3.4.1-16 80kHz 帯を使用している誘導式列車無線における離隔距離の計算結果

(6) 検討結果

本節では、これまに述べた計算と検討を基にまとめた共用条件を示す。なお、共用可能と判断するための基準としては、以下のとおりとした。

ｉ）WPT で使用する周波数と鉄道設備が使用する周波数が重ならない。
又は

ii）所要離隔距離が、鉄道設備における建築限界内に入っている（干渉が発生する

可能性のある距離が、鉄道事業者の関与なくWPTを置くことができない位置である）。

(ア) 42kHz以上48kHz以下

本周波数帯には空間を伝搬媒体として用いる列車無線設備が使用されていないため、誘導式列車無線との共用条件を満たすものと考えられる。

(イ) 52kHz以上58kHz以下

本周波数帯には空間を伝搬媒体として用いる列車無線設備が使用されていないため、誘導式列車無線との共用条件を満たすものと考えられる。

(ウ) 79kHz以上90kHz以下

本周波数帯内と近傍の80kHzと92kHzは、国内で一か所ではあるが単一の線区に導入されている誘導式列車無線が存在し、計算上の所要離隔距離は、車上アンテナに対して約45mである。本周波数帯を使用する誘導式列車無線の線区では誘導線と車上アンテナがともに軌道の中心線上にあり、WPTが設置可能な最短離隔距離は建築限界に相当する距離（1.5m～1.9m程度）になるものと考えられる。このとき、WPTが設置可能な最短離隔距離において許容できる受信電圧とするためには、WPTから放射される磁界強度を80dB以上減衰させる必要がある。

従って、必要なガードバンド幅に依存するが、必要なガードバンド幅が3kHzの場合は、83kHz以上89kHz以下については、誘導式列車無線との共用条件を満たすものと考えられる。

(エ) 140.91kHz以上148.5kHz以下

本周波数帯には多くの線区に導入されている誘導式列車無線が存在し、計算上の所要離隔距離は、誘導線に対して約28m、車上アンテナに対して約76mである。本周波数帯では各種の結合方式が採用されている。結合方式によっては誘導線が建築限界の外に敷設されており、WPTが設置された位置と誘導線との離隔距離が建築限界よりも短く、また車上アンテナに対しても建築限界＋1～2mとなる可能性を排除できない。このとき、WPTが設置可能な最短離隔距離において許容できる受信電圧とするためには、WPTから放射される磁界強度を88dB以上減衰させる必要がある。

以上の検討結果から明らかなように、79kHz～83kHz、89kHz～90kHz及び140.91kHz～148.5kHzについては、所要離隔距離が建築限界（1.5m～1.9m）を超えており、現在対象となっているWPT装置の開発状況においては、共存は困難と考えられる。しかし、この判断は離隔距離に依存したものであり、WPTの設置において必要な離隔距離を確保するための法的な規制等により共存が可能となるケースも考えられる。

3.4.2 家電機器用WPT②（家庭・オフィス機器）

(1) WPT使用周波数域における誘導式列車無線の利用状況

家電機器用WPT②が使用を予定している周波数域を対象として、当該の周波数域内で利用されている誘導式列車無線の使用周波数を調査した。調査結果を図3.4.2-1に示す。誘導式列車無線が一般的に使用している周波数帯は100kHz以上250kHz以下であるが、77kHz以上83kHz以下及び89kHz以上95kHz以下の周波数帯において、国内では単一の線区で誘導式列車無線が運用されている。なお、100kHzを搬送波として使用している線区に対しては、97kHz～100kHzをガードバンドとして設定する必要

がある。

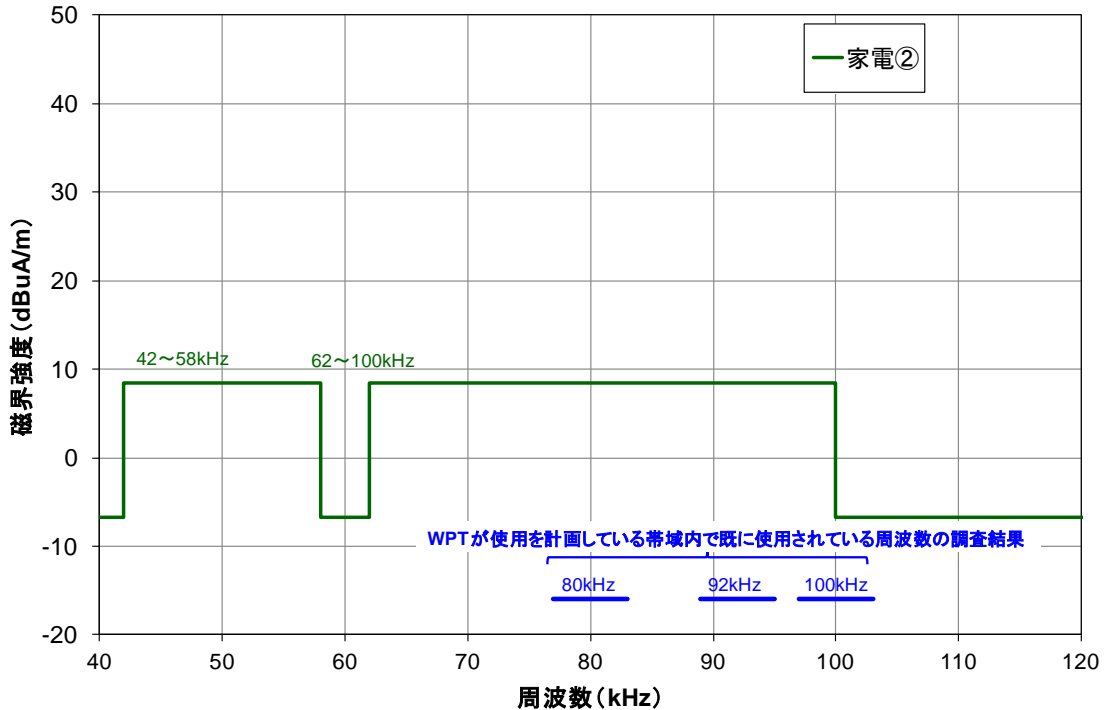



図 3.4.2-1　WPT の使用周波数と誘導式列車無線の使用周波数との関係

(2) 所要離隔距離の計算方法

(1)で述べた周波数の使用状況を踏まえ、WPT からの帯域内放射による誘導式列車無線への影響を検討するに当たっては、対象周波数として 80kHz を選定し、WPT からの帯域外放射による誘導式列車無線への影響を検討するに当たっては、対象周波数として 130kHz 及び 245kHz を選定した。

空間条件として、自由空間を仮定し、列車の車体等の周囲の地物の影響は無視した。

放射源となる WPT システムが微小ループであると仮定し、当該微小ループにより WPT システムの目標漏えい磁界強度を生じる場合に微小ループに流れる電流相当値を算出した。当該微小ループに流れる電流相当値から、誘導線又は車上アンテナに相当する受信側ループにおける磁界強度を計算した。続いて、受信側ループにおける磁界強度の計算値から、空中線の端子に発生する開放端電圧を求め、インピーダンス整合回路での電圧変換比を補正して受信機入力電圧の距離特性を算出した。受信機入力電圧の距離特性と、スケルチレベル「50dBμV/m」に対して「20dB」のマージンを考慮した許容受信機入力電圧を超えない距離を算出し、所要離隔距離とした。

(3) 干渉検討モデル

最悪条件を想定し、誘導式列車無線システムの結合形態として側面式を採用し、図 3.4.2-2 に示すように、放射源に相当する WPT システム、誘導線及び車上アンテナが一直線上に並ぶモデルを使用した。WPT システムと誘導線との間の距離をパラメータ「d」とし、誘導線と車上アンテナとの間の距離は 0.6m とした。

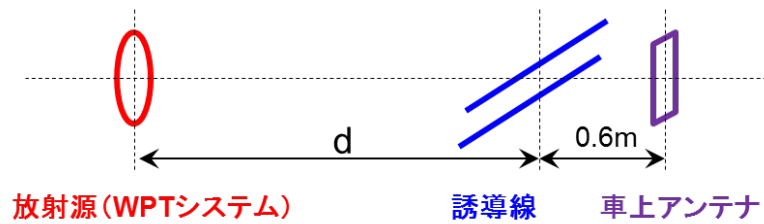



図 3.4.2-2　干渉検討モデル

また、図 3.4.2-3 に示すように、微小ループからの距離が r、z 軸から y 軸方向への角度が θ、x 軸から y 軸への角度が φ である地点における磁界は、式 3.4.2-1、式 3.4.2-2 及び式 3.4.2-3 で与えられる。

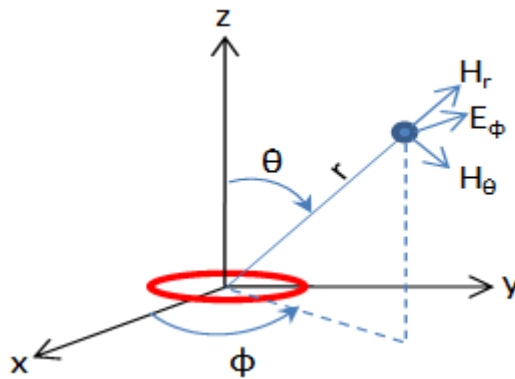



図 3.4.2-3　微小ループによる磁界の計算モデル

$$H_r = \frac{I \cdot S}{2\pi} e^{-jkr} \left(\frac{1}{r^3} + j\frac{k}{r^2} \right) \cos\theta \qquad ・・・（式 3.4.2-1）$$

$$H_\theta = \frac{I \cdot S}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{1}{r^3} + j\frac{k}{r^2} - \frac{k^2}{r} \right) \sin\theta \qquad ・・・（式 3.4.2-2）$$

$$E_\varphi = -\frac{j\omega\mu I \cdot S}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{1}{r^2} + j\frac{k}{r} \right) \sin\theta \qquad ・・・（式 3.4.2-3）$$

ただし、I は微小ループによる電流、S は微小ループの面積、k は波数、μ は透磁率、ω は角周波数である。図 3.4.2-2 に示すように、放射源に相当する WPT システム、誘導線及び車上アンテナが一直線上に並ぶモデルを使用した場合は、θ=0 となる。

また、開放端電圧については、ωμSN|H|により求め、終端電圧に換算した。ただし、N はループのターン数、H はループと交差する磁界強度である。誘導線については、S=1 ㎡、N=1 ターン、インピーダンス整合回路での電圧変換比を 600Ω:75Ω とした。車上アンテナ（130kHz、245kHz）については、S=1.3 ㎡、N=10 ターン、インピーダンス整合回路での電圧変換比を 400Ω:75Ω とした。車上アンテナ（80kHz）については、S=0.076 ㎡、N=66 ターン、インピーダンス整合回路での電圧変換比を 400Ω:75Ω とした。

(4)　所要離隔距離の計算結果

前述の前提条件のもとで、WPT からの帯域内放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における WPT システムと誘導線との間の離隔距離に対する磁界強度の

関係は、図 3.4.2-4 のとおりである。

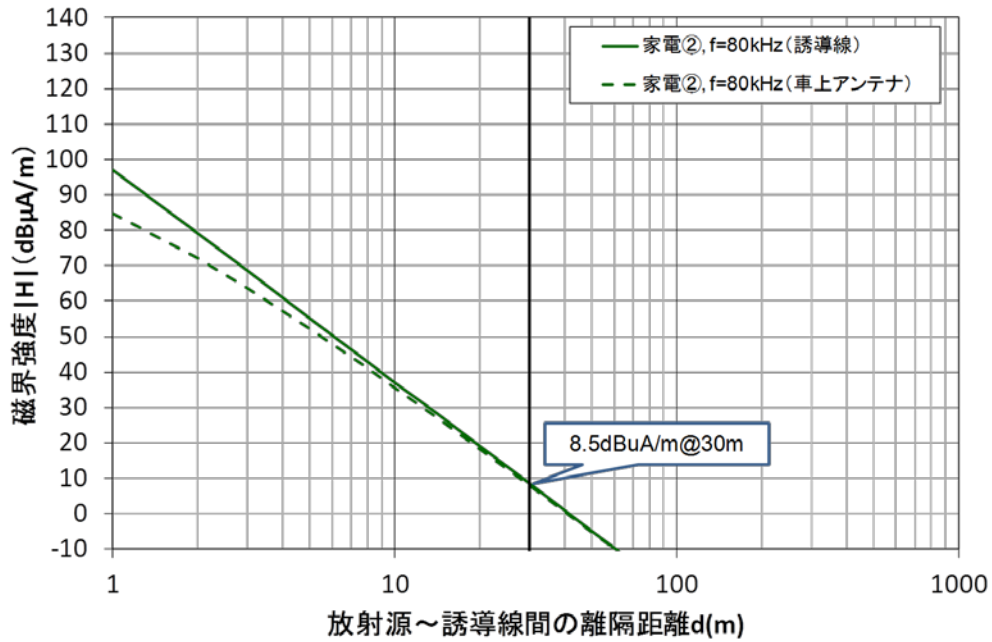



図3.4.2-4　磁界強度の計算結果（家電機器用WPT②・帯域内放射）

また、WPT からの帯域外放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における WPT システムと誘導線との間の離隔距離に対する磁界強度の関係は、図 3.4.2-5 のとおりである。

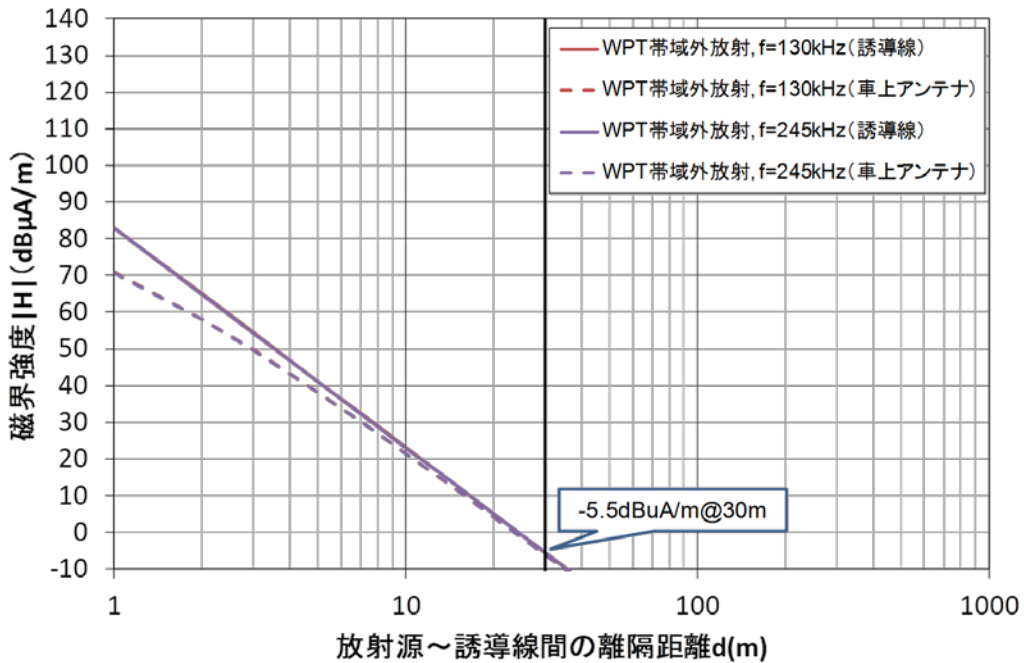



図3.4.2-5　磁界強度の計算結果（家電機器用WPT②・帯域外放射）

これらの計算結果を用いて、WPT からの帯域内放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における所要離隔距離は、図 3.4.2-6 のとおり算出される。

図3.4.2-6　所要離隔距離の計算結果（家電機器用WPT②・帯域内放射）

また、WPT からの帯域外放射による誘導式列車無線への影響を検討する場合における所要離隔距離は、図 3.4.2-7 とおり算出される。

図3.4.2-7　所要離隔距離の計算結果（家電機器用WPT②・帯域外放射）

(5) 共用条件の検討

(4)で示した所要離隔距離の計算は、図 3.4.2-8 に示すようなモデルで得られたも

のである。

図 3.4.2-8 計算上のモデル

家電用 WPT②が使用する周波数帯のうち、80kHz 帯が誘導式列車無線に利用されているが、当該の線区が単一であることから、この線区における結合方式に基づいて、所要離隔距離の再計算を行った。想定される位置関係の条件を図3.4.2-9に、また図3.4.2-9の条件の下で離隔距離 d を変えた場合の受信電圧の計算結果を図 3.4.2-10 に示す。

図 3.4.2-9 80kHz 帯を使用している誘導式列車無線における位置関係の例

図 3.4.1-10 80kHz 帯を使用している誘導式列車無線における離隔距離の計算結果

(6) 検討結果

本節では、これまに述べた計算と検討を基にまとめた共用条件を示す。なお、共用可能と判断するための基準としては、以下のとおりとした。

ｉ）WPT で使用する周波数と鉄道設備が使用する周波数が重ならない。

又は

ⅱ）所要離隔距離が、鉄道設備における建築限界内に入っている（干渉が発生する可能性のある距離が、鉄道事業者の関与なく WPT を置くことができない位置である）。

(ア)20.05kHz 以上 38kHz 以下

本周波数帯には空間を伝搬媒体として用いる列車無線設備が使用されていないため、誘導式列車無線との共用条件を満たすものと考えられる。

(イ)42kHz 以上 58kHz 以下

本周波数帯には空間を伝搬媒体として用いる列車無線設備が使用されていないため、誘導式列車無線との共用条件を満たすものと考えられる。

(ウ)62kHz 以上 100kHz 以下

本周波数帯には単一の線区に導入されている誘導式列車無線が存在し、計算上の所要離隔距離は、車上アンテナに対して約 11m である。本周波数帯を使用する誘導式列車無線が導入されている線区では、誘導線と車上アンテナがともに軌道の中心線上にあり、WPT が設置可能な最短離隔距離は建築限界に相当する距離（1.5m～1.9m 程度）になるものと考えられる。このとき、WPT が設置可能な最短離隔距離において許容できる受信電圧とするためには、WPT から放射される磁界強度を 25dB

以上減衰させる必要がある。
なお、97kHz～100kHz に対しては、100kHz を搬送波周波数として使用している線区が複数存在しているため、当該の周波数域については誘導式列車無線との共用は困難と考えられる。
従って、必要なガードバンド幅に依存するが、必要なガードバンド幅が 3kHz の場合は、62kHz 以上 77kHz 以下、83kHz 以上 89kHz 以下及び 95kHz 以上 97kHz 以下については、誘導式列車無線との共用条件を満たすものと考えられる。

以上の検討結果から明らかなように、77kHz～83kHz、89kHz～95kHz 及び 97kHz～100kHz については、所要離隔距離が建築限界（1.5m～1.9m）を超えており、現在対象となっている WPT 装置の開発状況においては、共存は困難と考えられる。しかしこの判断は離隔距離に依存したものであり、WPT の設置において必要な離隔距離を確保するための法的な規制等により共存が可能となるケースも考えられる。

3.5　アマチュア無線との共用検討

アマチュア無線との周波数共用検討は、一般社団法人日本アマチュア無線連盟（以下「アマチュア無線連盟」という。）と BWF との間に情報交換会を設置して行った。検討対象となる WPT システムは、電気自動車用 WPT、家電機器用 WPT①、家電機器用 WPT②及び家電機器用 WPT③である。

アマチュア無線との周波数共用については、当初は WPT システムと隣接する長波帯アマチュア無線（135.7-137.8 kHz）及び中波帯アマチュア無線（472-479 kHz）を検討対象とした。しかし、アマチュア無線連盟からの要望を受け、UHF 帯の 1200MHz 帯（指定周波数は 1280MHz）以下の周波数帯に存在するアマチュア無線を検討対象とすることとした。

アマチュア無線については、アマチュア無線家が自助努力によって空中線系等を製作・設置することが一般的であり、公的な被干渉規定が存在しない。したがって、周波数共用検討においては各 WPT システムの漏えい電界強度の実態が干渉を与えるかどうかを、アマチュア無線連盟が判断する方法で検討を進めた。

検討に当たっては、WPT システムの利用周波数帯がアマチュア無線用に分配されている周波数帯と同じ場合と、異なる場合とに分けて検討を行った。

表 5.3.5-1 に、UHF 帯以下のアマチュア無線に分配されている周波数帯を示す。表 5.3.5-1 に示すように、中波帯アマチュア無線（472-479 kHz）は、家電機器用 WPT③と同じ周波数帯を用いている。一方、その他のアマチュア無線は各 WPT システムと異なる周波数帯を用いており、適切なガードバンドを挟んで離調している。

表 3.5-1　検討対象としたアマチュア無線の周波数帯

周波数帯	利用可能周波数 （指定周波数）	特徴
135kHz 帯	135.7～137.8kHz （136.75kHz）	電信及び PSK31 など、占有周波数帯幅 100Hz 以下の狭帯域データ伝送が許可される。 EIRP（等価等方輻射電力）は 1W 以下が許可される。
475kHz 帯	472～479kHz （475.5kHz）	大陸間通信などの長距離の無線として利用される。数 W 程度の低電力で送信できることも特徴である。
1.8/1.9MHz 帯	1810～1825kHz, 1907.5～1912.5kHz （1910kHz）	電信および狭帯域データ伝送が許可される。 主に 1810～1825kHz は日本国外との通信、1907.5～1912.5kHz は日本国内との通信に用いられる。
3.5MHz 帯	3500～3575kHz, 3599～3612kHz, 3680～3687kHz （3537.5kHz）	電信は、SSB 同様に、国内局同士での和文電信が多く運用されている。 半波長ダイポール・アンテナの場合、約 40m の長さのエレメントを必要とする。このため、コイル等を利用し短縮されたアンテナが多く利用されている。
3.8MHz 帯	3702～3716kHz, 3745～3777kHz, 3791～3805kHz （3798kHz）	SSB による国外との長距離通信「DX」専用に利用されている。 3.5MHz 帯は周波数割当ての関係で国外との交信が出来ないため、このバンドが割り当てられた。
7MHz 帯	7000～7200kHz （7100kHz）	ITU 憲章に規定する無線通信規則にある第 2 地域では 7300kHz まで開放されており、第 1 地域及び第 3 地域の電話バンドは一部が重なるのみ（7150～7200kHz まで）である。
10MHz 帯	10100～10150kHz （10125kHz）	電信および狭帯域データ伝送が許可される。 WARC バンドのひとつである。
14MHz 帯	14000～14350kHz （14175kHz）	DX のメインストリートと呼ばれ、アマチュアバンドの中で最も遠距離通信に適した周波数帯と言われている。
18MHz 帯	18068～18168kHz （18118kHz）	国内外共に安定した通信が可能であり、基本的には 14MHz 帯に類似する。 WARC バンドのひとつである。
21MHz 帯	21000～21450kHz （21225kHz）	伝搬状態の変化が大きく 14MHz 帯のような安定性は無いが、国外との通信が容易で、第四級アマチュア無線技士でも運用できるため短波帯の入門バンドといわれており、7MHz 帯の次に人気があるバンドである。
24MHz 帯	24890～24990kHz （24940kHz）	21MHz 帯と 28MHz 帯の中間的な性質を持ち、太陽活動の影響が大きい。 WARC バンド[1]のひとつである。
28MHz 帯	28～29.7MHz （28.85MHz）	短波帯で唯一 FM が許可される。レピーター（中継局）、アマチュア衛星通信も許可される。
50MHz 帯	50～54MHz （52MHz）	51MHz 以上は FM が多く利用される。 EME（月面反射通信）が許可される。
144MHz 帯	144～146MHz （145MHz）	アンテナが手頃な大きさにできるため、モービル（自動車）からの運用が盛んである。 アマチュア衛星通信、EME が許可される。
430MHz 帯	430～440MHz （435MHz）	不特定局への呼び出し が活発に行われている。FM による近距離通信が主流である。 レピーター、アマチュア衛星通信、EME が許可される。
1200MHz 帯	1260～1300MHz （1280MHz）	デジタル通信にも用いられている。 レピーター、アマチュア衛星通信、EME、ATV（アマチュアテレビ）が許可される。

出典：wikipedia「アマチュア無線」を基に作成

(1)　検討の進め方

ワイヤレス電力伝送システムは、基本的には無変調の連続波であるため、帯域外では整数次の高調波成分のみが大きく、特に奇数次の高調波成分がより大きくなる傾向を有している。そのため、ワイヤレス電力伝送システムがアマチュア無線に及ぼす影響の技術的検討を行うに当たっては、ワイヤレス電力伝送システムの使用周波数の整数次高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれるかどうかが、干渉の有無の実態を判断するための材料になるものと考えられる。

以上を踏まえ、ワイヤレス電力伝送システムの種別ごとにアマチュア無線に及ぼす影響の技術的検討を行った結果を以下に示す。なお、実際のワイヤレス電力伝送システムの測定データについては、情報通信審議会　情報通信技術分科会　電波利用環境委員会ワイヤレス電力伝送作業班において公表されている資料を引用する。ただし、当該データの妥当性については、一般社団法人日本アマチュア無線連盟の立ち会いの下、実機の確認を行うことによって検証した。[注：7 月の実験結果を前提に記載]

3.5.1　電気自動車用 WPT

電気自動車用 WPT については、伝送電力が最大 7.7kW と非常に大きいが、使用周波数は 150kHz 以下と低く、また、図 4.3.5.1-1 からも分かるとおり、高調波対策を行った装置であれば、5 次以上の高調波は基本波に対して 80dB 以上低減するという性質を有している。そのため、電気自動車用 WPT の 5 次以下の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれなければ、特段の支障はないものと考えられる。この観点から、135kHz 帯（135.7kHz～137.8kHz）及び 475kHz 帯（472kHz～479kHz）のアマチュア無線について、検討を行った。

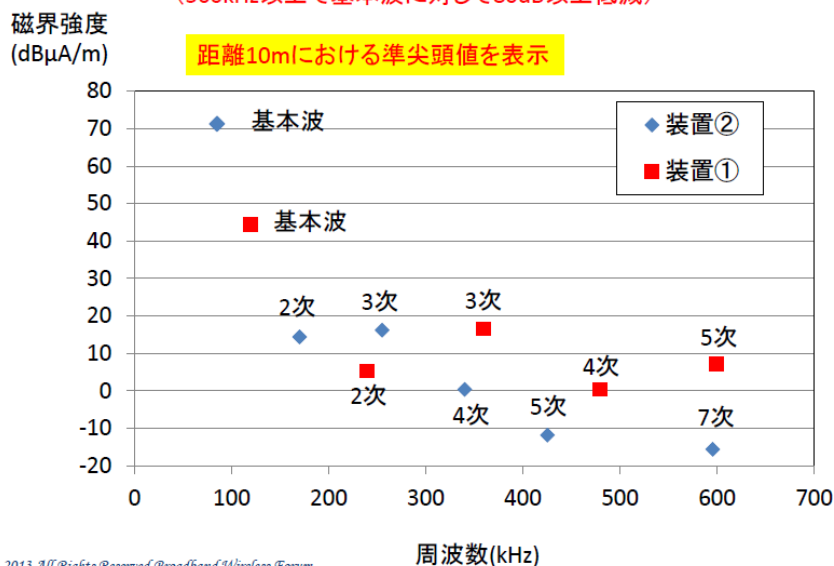



図 3.5.1-1　電気自動車用 WPT の高調波特性

（ア）135kHz 帯（135.7kHz～137.8kHz）

電気自動車用 WPT の使用周波数が 52kHz～58kHz、79kHz～90kHz 又は 140.91kHz～148.5kHz の場合は、整数次の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれることがないため、特段の支障はないものと考えられる。

電気自動車用 WPT の使用周波数が 42kHz～48kHz の場合は、3 次高調波がアマチュ

ア無線の周波数帯に含まれる可能性があるため、万が一、アマチュア無線が有害な混信を受けた場合には、電波法第 100 条及び同法第 101 条並びに無線設備規則第 66 条に基づき、WPT システムの運用者が混信又は障害の除去のために必要な措置を講じる必要があるものと考えられる。

（イ）475kHz 帯（472kHz～479kHz）

電気自動車用 WPT の使用周波数が 52kHz～58kHz 又は 140.91kHz～148.5kHz の場合は、整数次の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれることがないため、特段の支障はないものと考えられる。

電気自動車用 WPT の使用周波数が 42kHz～48kHz 又は 79kHz～90kHz の場合は、6 次以上の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれる可能性があるものの、前述のとおり、5 次以上の高調波は基本波に対して 80dB 以上低減するという性質を有しているため、特段の支障はないものと考えられる。万が一、アマチュア無線が有害な混信を受けた場合には、電波法第 100 条及び同法第 101 条並びに無線設備規則第 66 条に基づき、WPT システムの運用者が混信又は障害の除去のために必要な措置を講じる必要があるものと考えられる。

（ウ）中短波帯（1.9MHz 帯）及び短波帯

電気自動車用WPT用に検討されている周波数の6次以上の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれる可能性があるが、本周波数帯における WPT のスプリアスの強度は基本波と比較して 80dB 以上低減するという性質を有しているため、特段の支障はないものと考えられる。万が一、アマチュア無線が有害な混信を受けた場合には、電波法第 100 条及び同法第 101 条並びに無線設備規則第 66 条に基づき、WPT システムの運用者が混信又は障害の除去のために必要な措置を講じる必要があるものと考えられる。

3.5.2　家電機器用 WPT①（モバイル機器）

家電機器用 WPT①（モバイル機器）については、伝送電力こそ最大 100W と小さいが、使用周波数帯が 6.78MHz 帯であるため、6.78MHz 以上の周波数帯を使用するアマチュア無線に対し詳細な検討が必要となる。

そのため、7MHz 帯（7000kHz～7200kHz）、10MHz 帯（10100kHz～10150kHz）、14MHz 帯（14000kHz～14350kHz）、18MHz 帯（18068kHz～18168kHz）、21MHz 帯（21000kHz～21450kHz）、24MHz 帯（24890kHz～24990kHz）、28MHz 帯（28MHz～29.7MHz）、50MHz 帯（50MHz～54MHz）及び 144MHz 帯（144MHz～146MHz）のアマチュア無線について、検討を行った。これらのアマチュア無線の周波数帯については、家電機器用 WPT①（モバイル機器）の使用周波数の整数次の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれることがないため、特段の支障はないものと考えられる。

なお、これ以上の周波数帯のアマチュア無線については、周波数が十分離調されており、特段の支障はないものと考えられる。万が一、アマチュア無線が有害な混信を受けた場合には、電波法第 100 条及び同法第 101 条並びに無線設備規則第 66 条に基づき、WPT システムの運用者が混信又は障害の除去のために必要な措置を講じる必要があるものと考えられる。

3.5.3　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器）

家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器）については、伝送電力が最大 3kW であり、使用周波数が 20.5kHz から 100kHz までの範囲にある。これは、電磁誘導加熱式調理器

（IH クッキングヒーター）の諸元の範囲内であり、漏えい電界強度についても電磁誘導加熱式調理器（IH クッキングヒーター）の同等以下が目標とされている。

家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器）については、使用周波数の範囲が非常に広いため、使用周波数の整数次の高調波がアマチュア無線の周波数帯に含まれるケースが、全てのアマチュア無線の周波数帯で起こり得ることになるが、その発生確率は非常に低いため、特段の支障はないものと考えられる。また、一般家庭の電磁誘導加熱式調理器（IH クッキングヒーター）からアマチュア無線に有害な混信を与えたという報告は受けておらず、この点からも特段の支障はないものと考えられる。万が一、アマチュア無線が有害な混信を受けた場合には、電波法第 100 条及び同法第 101 条並びに無線設備規則第 66 条に基づき、WPT システムの運用者が混信又は障害の除去のために必要な措置を講じる必要があるものと考えられる。

3.5.4　家電機器用 WPT③（モバイル機器）

家電機器用 WPT③（モバイル機器）については、電界結合方式により電力伝送を行うもので、本報告書での検討対象となっているワイヤレス電力伝送システムの中で、漏えい電界強度が最も低いという性質を有している。その実測値は、図 4.3.5.4-1 のとおりであり、既存の電波法で規律されている他のシステムの漏えい電界強度の許容値よりも 20dB 以上低い値となっており、特段の支障はないものと考えられる。万が一、アマチュア無線が有害な混信を受けた場合には、電波法第 100 条及び同法第 101 条並びに無線設備規則第 66 条に基づき、WPT システムの運用者が混信又は障害の除去のために必要な措置を講じる必要があるものと考えられる。

ただし、使用周波数が 425kHz～524kHz であり、このうち 472kHz～479kHz についてはアマチュア無線の周波数帯とインバンド干渉の関係にある。そのため、家電機器用 WPT③（モバイル機器）については、使用周波数から 472kHz～479kHz を外した形で運用されるのであれば、特段の支障はないものと考えられる。

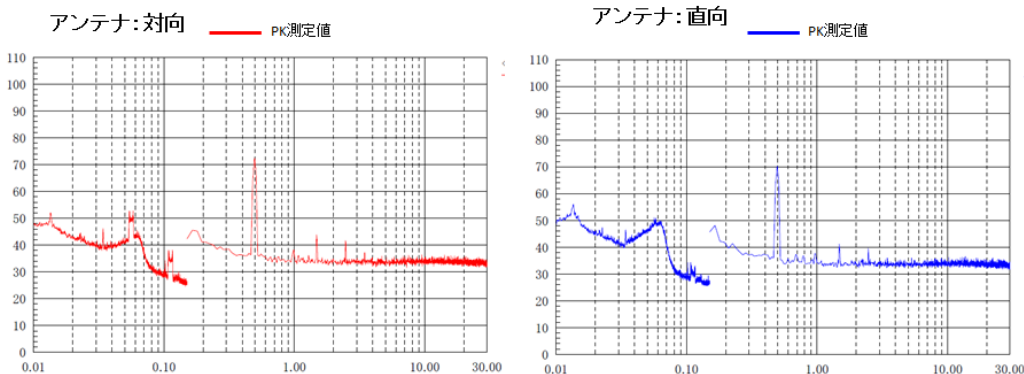
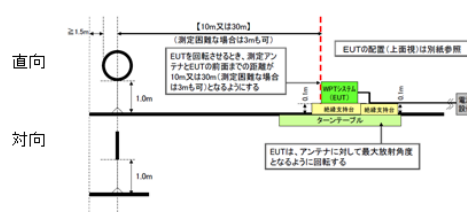



図 3.5.4-1　家電機器用 WPT③（モバイル機器）に関する漏えい電界強度の実測値

3.6　船舶無線との共用検討

船舶無線との周波数共用検討は、一般社団法人全国船舶無線協会・水洋会部会（以下「水洋会」という。）と BWF との間に情報交換会を設置して行った。検討対象となる WPT システムは、家電機器用 WPT③及び家電機器用 WPT②である。

3.6.1　家電機器用 WPT③（モバイル機器）

(1) 検討の進め方

実際の利用シーンを想定し、机上検討によって、WPT の漏えい電磁界（目標値）における所要離隔距離を算出した。

NAVTEX（Navigational Telex）で使用されている 424kHz、490 kHz 及び 518 kHz 並びに NAVDAT（Navigation and Data Control System）で使用されている 495kHz から 505 kHz までの周波数帯域が安全航行を確保する上で重要な周波数であることを考慮し、同一周波数帯の利用をしない方向も視野に入れて検討した。

(2) 干渉検討モデル

まず、船舶内でノート PC 等のモバイル機器へワイヤレス電力伝送を行うモデルが考えられる。モデルの利用シーンと離隔距離計算条件を図 3.6.1-1 に示す。干渉検討モデルにおいては大型客船において NAVTEX アンテナと客室の離隔距離は最小で 10m とした。また、NAVTEX アンテナと WPT 機器の間に床があることも想定し、床 1 枚あたりの損失を 10dB とし、床 1 枚と 2 枚の場合で離隔距離の計算を行った。NAVTEX 受信機については、業界内の標準的な機種を選定し、当該機種の受信特性を反映した。

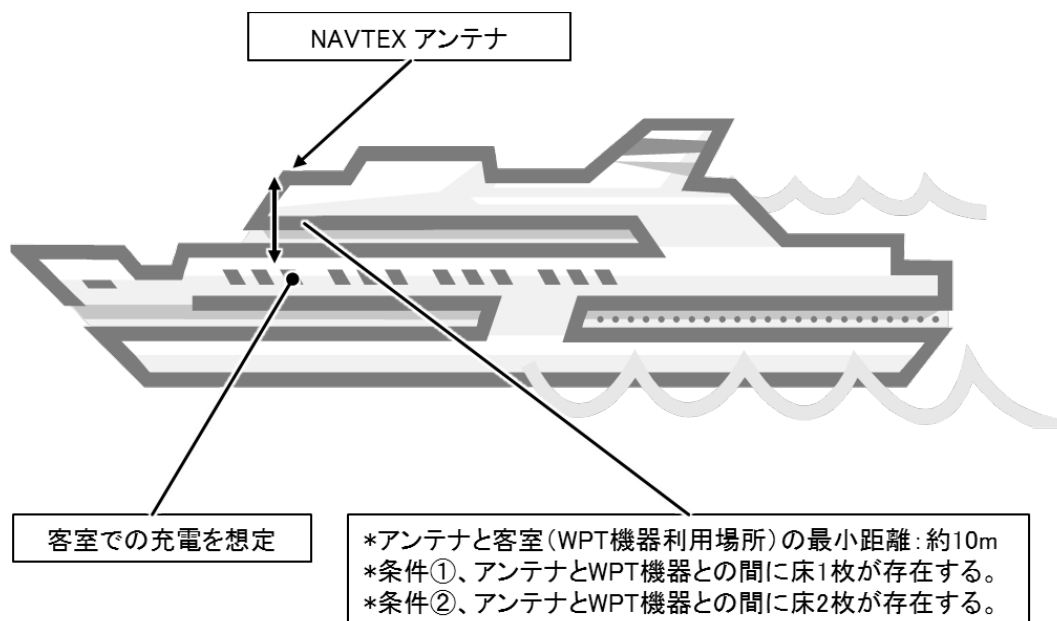



図 3.6.1-1　船舶内ワイヤレス電力伝送の干渉検討モデル

次に、海岸離隔でノート PC 等のモバイル機器へワイヤレス電力伝送を行うモデルを考える。モデルの利用シーンと離隔距離計算条件を図 3.6.1-2 に示す。干渉検討モデルにおいては、大規模な港湾施設では NAVTEX アンテナと WPT 機器の離隔距離は最小で 25m とした。

また、NAVTEX アンテナと WPT 機器の間に壁が 1 枚あることも想定し、その損失を 10dB とした。

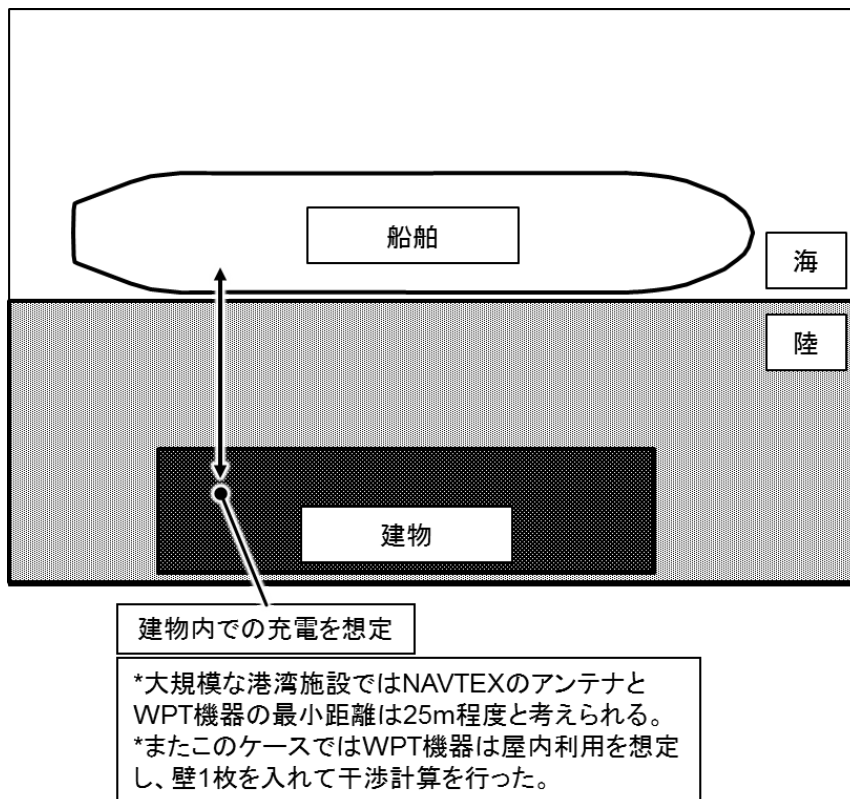



図 3.6.1-2　海岸近くでのワイヤレス充電の干渉検討モデル

(3) 干渉計算

家電機器用 WPT③の基本波検討周波数帯域と船舶無線の使用周波数との関係を図 3.6-3 に示す。家電機器用 WPT③の基本波検討周波数帯域は 425kHz から 524kHz までである。

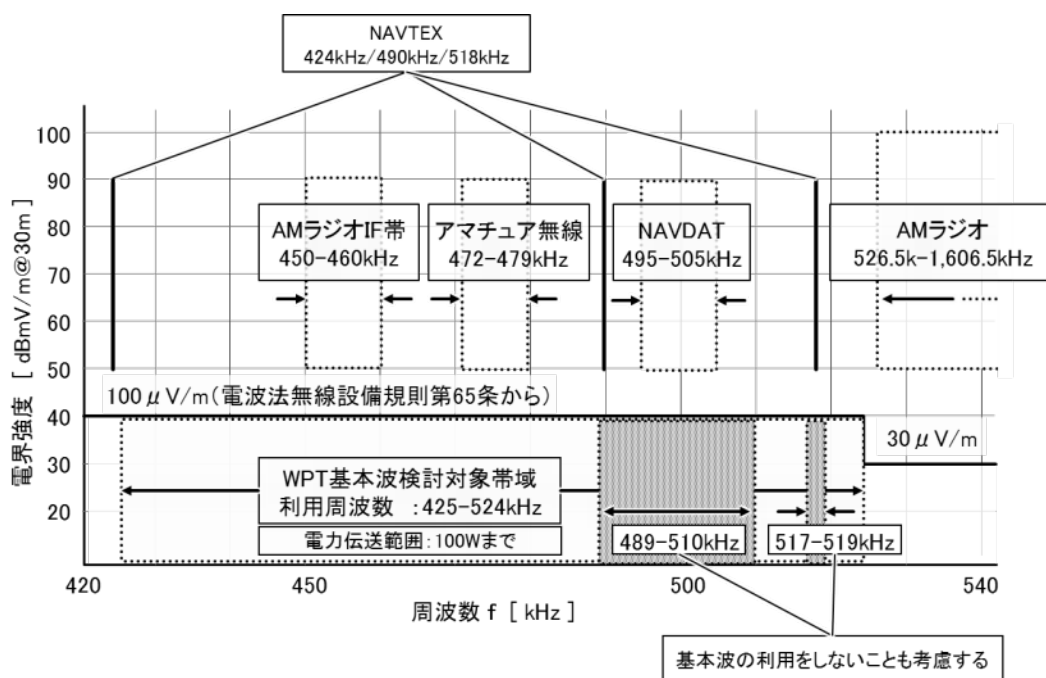



図 3.6-3　基本波検討周波数帯域と船舶無線の使用周波数との関係

(4) 検討結果

漏えい電磁界強度の目標値による所要離隔距離の検討結果を表 3.6.1-1 に示す。

表 3.6.1-1　漏えい電磁界強度の目標値による所要離隔距離

WPT		NAVTEX(機種A)							干渉波		壁損失	最小受信感度	許容干渉レベル	所要離隔距離
利用周波数	電力	中心周波数	占有周波数帯幅	kTB(27℃)	雑音指数	kTBF(27℃)	CINR	所要離隔距離の計算条件	基本波	漏洩レベル(目標値)				
kHz	W	kHz	kHz	dBm	dB	dBuV	dB		kHz	dBuV/m(30m)	dB	dBuV/m	dBuV/m	m
425-524	100	490	0.5	-147	6	-28	6	① 目標漏えい電界強度、客船船室1で利用	490	40	10	42	36	24.2
	100	490	0.5	-147	6	-28	6	② 目標漏えい電界強度、客船船室2で利用	490	40	20	42	36	16.5
	100	490	0.5	-147	6	-28	6	③ 目標漏えい電界強度、港湾施設で利用	490	40	10	42	36	24.2

家電機器用 WPT③は付録に示すとおり、試作機による評価での漏えい電界強度については、目標値よりも十分低く抑えることができるため、共用の可能性があると考えられる。そこで、漏えいレベル測定データを反映した場合の所要離隔距離の検討結果を表 3.6.1-2 に示す。

表 3.6.1-2　漏えいレベル測定データを反映した場合の所要離隔距離

WPT		NAVTEX（機種A）						所要離隔距離の計算条件	干渉波		漏えいレベルの測定データ反映	壁損失	最小受信感度	許容干渉レベル	所要離隔距離
利用周波数	電力	中心周波数	占有周波数帯幅	kTB（27℃）	雑音指数	kTBF（27℃）	CINR		基本波	漏洩レベル（目標値）					
kHz	W	kHz	kHz	dBm	dB	dBuV	dB		kHz	dBuV/m(30m)	dB	dB	dBuV/m	dBuV/m	m
425-524	100	490	0.5	-147	6	-28	6	① 目標漏えい電界強度、客船船室1で利用	490	40	24	10	42	36	9.6
	100	490	0.5	-147	6	-28	6	② 目標漏えい電界強度、客船船室2で利用	490	40	24	20	42	36	6.6
	100	490	0.5	-147	6	-28	6	③ 目標漏えい電界強度、港湾施設で利用	490	40	24	10	42	36	9.6

船舶無線との周波数共用検討の結果、漏えい電界強度の目標値による所要離隔距離の計算結果は 24.2m であった。ただし、測定データに基づく計算結果は 10m 以下となり共用の可能性があることは確認した。また、利用シーンとして家電機器用 WPT③は家庭内やオフィス内での利用が中心であるため、船内に持ち込んで利用するケースは非常に少ないと考えられる。

しかしながら、家電機器用 WPT③の使用周波数については、共用検討対象システムである船舶無線の周波数帯域が安全航行を確保する上で重要な周波数であることを考慮して、規律されるべきであると考えられる。

3.6.2　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器）

(1)　検討の進め方

家電機器用 WPT②と使用周波数帯が重なるロランを検討対象とし、共用可能性を検討した。

ロランに関する周波数帯域が安全航行を確保する上で重要な周波数であることを考慮し、同一周波数帯の利用をしない方向も視野に入れて検討した。

(2)　干渉検討モデル

船舶内で家庭・オフィス機器へワイヤレス電力伝送を行うモデルと、海岸離隔で家庭・オフィス機器へワイヤレス電力伝送充電を行うモデルが考えられる。前者の干渉検討モデルにおいては大型客船においてロランのアンテナと客室の離隔距離は最小で 10m とした。後者の干渉検討モデルにおいては、大規模な港湾施設ではロランのアンテナと WPT 機器の離隔距離は最小で 25m とした。

(3)　検討結果

ロラン C に対する所要離隔距離の検討結果を表 3.6.1-3 に示す。

ロランC		家電機器用WPT②			ロランC受信機の受信レベル		共用可能な離隔距離
利用周波数	受信機	バンド	利用周波数	最大放射レベル @30m			
			(kHz)	(dBuV/m)	(uV/m)	(dBuV/m)	(m)
100kHz	A	62-100kHz	100	60.0	1.0	0.0	300.0
	B		100	60.0	17.8	25.0	114.9
	C		100	60.0	10.0	20.0	139.2

表 3.6.1-3　ロラン C に対する所要離隔距離

ロランCに対し、共用可能な離隔距離は最大で「300m」となっており、干渉発生の可能性は否定できない。ただし、現実的な利用シーンを考えると、家電機器用WPT②は家庭内やオフィス内での利用が中心であるため、船内に持ち込んで利用するケースは非常に少ないと考えられる。さらに、両システムが近くで利用される可能性もほとんどないため、共用の可能性はあるものと考えられる。

しかしながら、家電機器用WPT②の使用周波数については、共用検討対象システムであるロランの周波数帯域が安全航行を確保する上で重要な周波数であることを考慮して、規律されるべきであると考えられる。

3.7　中波ラジオ放送との共用検討

中波ラジオ放送との周波数共用検討は、日本放送協会及び一般社団法人日本民間放送連盟（以下「民放連」という。）と BWF との間に情報交換会を設置して行った。検討対象となる WPT システムは、家電機器用 WPT③、家電機器用 WPT②及び電気自動車用 WPT である。

中波ラジオ放送との周波数共用検討では、総務省に設置された放送ネットワークの強靭化に関する検討会（以下「強靭化検討会」という。)」などでも災害時の中波ラジオの重要性が論議されているのを尊重し、中波ラジオに妨害が生じないように検討を進める。

3.7.1　共用検討の進め方

(1)検討の基本条件

強靭化検討会では、電子機器等の普及や建造物の構造の変化（高層化・堅牢化）により都市部においてラジオの難聴が生ずる「都市型難聴」への対策が、中波ラジオ放送サービスにおける最も重要な課題のひとつであることを指摘している。例えば、東京に所在する民間ラジオ放送事業者における聴取者からの受信相談では、「ラジオに雑音が入り聞きにくい」、「雑音で聞きたくても聞こえない」という内容が多数を占めているとのことである。以上のように、地理的には受信電界強度が高い都市部での難聴が懸念される状況にある。

一方、WPT システムの導入、普及は人口が多い都市部から進んでいくと考えられる。したがって、WPT システムを導入するに当たっては、この都市型難聴の状態をさらに悪化させてはならないということを念頭に置いて技術検討を行うこととする。

以下に、本検討の基本的な考え方を示す。

- 中波ラジオ受信機への干渉が問題視される屋内受信状態を検討する。
- 干渉検討モデルは、まずは難聴が懸念されているコンクリート構造等のビル内に、中波ラジオ受信機がある条件とする。なお、木造家屋については、中波ラジオ帯の電波が建物内部に到達する際の減衰量による WPT からの干渉波の低減がほとんど見込めないと考えられるため、中波ラジオ帯の電波が建物内部に到達する際の減衰量を 0dB とした場合の検討結果を等価的に引用する。
- BWF の漏えい電界目標値では中波ラジオ放送への影響があるため、中波ラジオ放送の干渉耐性の条件として、中波ラジオ放送の混信保護比を用いることが考えられたが、AM 変調である中波ラジオ放送同士の基準で WPT システムが無変調連続波であるため利用できないことが確認され、利用可能な許容干渉レベルの規定が無かった。したがって、背景雑音（都市雑音）を許容干渉レベルの出発点とする。具体的には、ITU-R P.372 で規定される背景雑音レベルを利用する。
- 所要離隔距離は、CISPR 上の「住宅環境」において 10m 以内の距離に存在する無線通信機器が保護の対象とされていることを考慮し、10m とする。ただし、家電機器用 WPT②及び家電機器用 WPT③においては主に屋内で利用され、同一家庭に多数台が存在しうることを考慮し、所要離隔距離は定めずに実利用環境を考察して検討する。
- 中波ラジオ帯の電波が建物内部に到達する際の減衰量については「中波放送プリエンファシス懇談会報告書（昭和 58 年 12 月)」から引用した。。

3.7.2　家電機器用 WPT③（モバイル機器）

(1) 検討の進め方

図 3.7.2-1 に示すように、家電機器用 WPT③は、高調波が中波ラジオ帯へ帯域内干渉することに加えて、基本波が中波ラジオ受信機の中間周波数帯に帯域内干渉するため、この両方についての検討を行う。

また、家電機器用 WPT③は、屋内で利用され、同一家庭に多数台存在しうるため、家

庭内での電力加算も考慮して検討する。

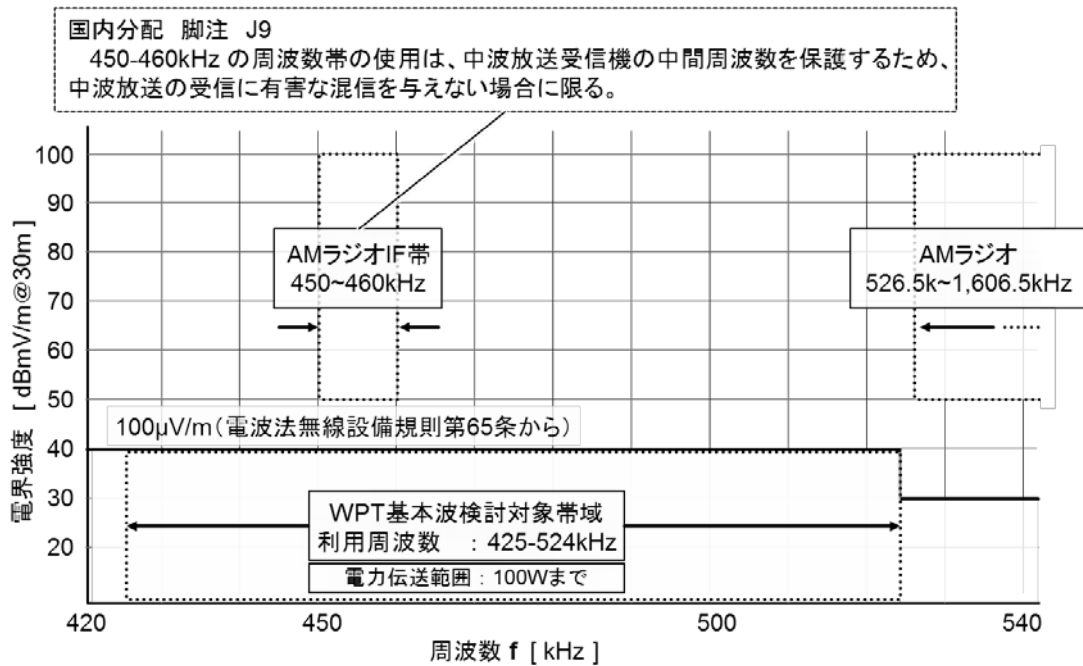



図 3.7.2-1 WPT の想定スペクトラムマスクと中波ラジオの利用状況

(2) 干渉検討モデル

同一家屋内及び隣家どうしで想定される干渉検討モデルを図 3.7.2-2 に示す。WPT から中波ラジオへの与干渉における距離減衰を含まない伝搬減衰は L0~L8 である。(L4、L5、L6、L7 及び L8 は暫定)

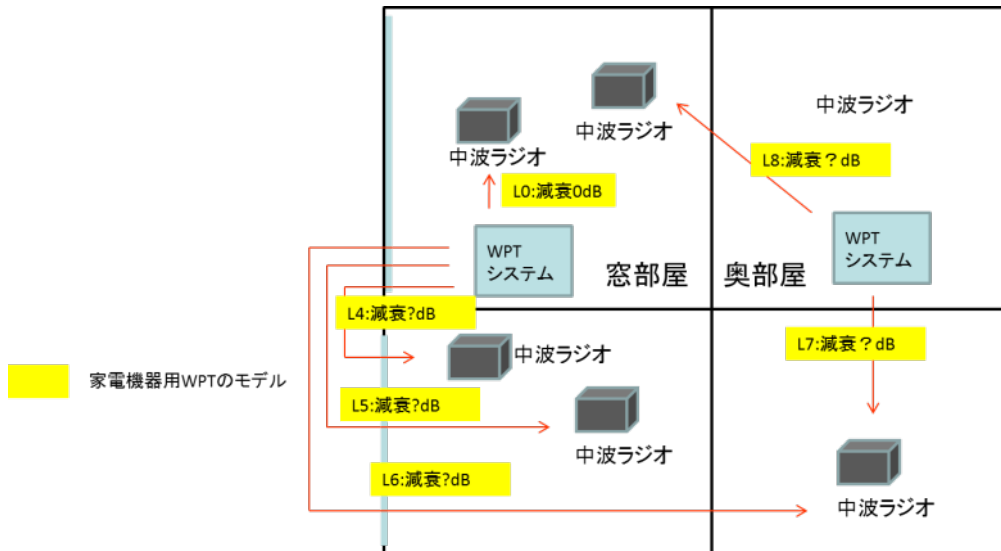



図 3.7.2-2 干渉検討モデル

さらに、家電機器用 WPT③については、家庭内での複数台利用がされる可能性があるため、以下のような干渉検討モデルも想定する。(L9 は暫定)

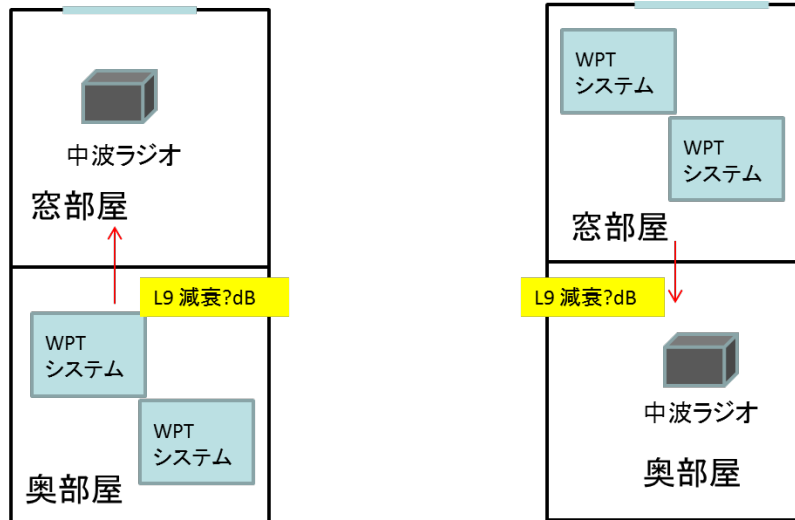



図 3.7.2-3　複数台利用時の干渉検討モデル

(3) 家庭内での複数台利用

図 3.7.2-3 に示す家庭内での複数台利用においては、利用周波数帯の中でひとつの周波数を選定し、無変調連続波（信号帯域幅は数 10Hz 以下）で電力伝送するため、製造ばらつきによる伝送周波数のずれを考慮すると、電力伝送波が重なり電力加算される確率は、極めて低いと考えられる。

加えて、電力加算による干渉波レベルの増加を積極的に防止するため、電力周波数を意図的にランダムに設定する仕組みを付加することで、伝送周波数が重なることを防止できる。

(4) 検討結果

前述の干渉検討モデルと諸条件を考慮した、高調波が中波ラジオ帯へ帯域内干渉する場合の検討結果を表 3.7.2-1 に示す。所要離隔距離は 46.5m となった。

表 3.7.2-1 中波ラジオ帯域内の所要離隔距離計算結果

所要離隔距離の計算条件		漏えいレベル	建物内部に到達する際の減衰量	許容干渉レベル	所要離隔距離
		(dBuV/m @30m)	(dB)	(dBuV/m)	(m)
L0	同一部屋	29.5	0	21.5	46.5
L4	隣家　窓際同士	29.5	?	21.5	－
L5	隣家　WPT窓際-ラジオ窓部屋奥	29.5	?	21.5	－
L6	隣家　WPT窓際-ラジオ奥部屋	29.5	?	21.5	－
L7	隣家　奥部屋同士	29.5	?	21.5	－
L8	同一家屋内　WPT奥部屋-ラジオ窓部屋	29.5	?	21.5	－

次に、基本波が中波ラジオ受信機の中間周波数帯に帯域内干渉する場合の検討結果を表 3.7.2-2 に示す。

中間周波数帯への帯域内干渉は、中波ラジオの高周波入力からの被干渉とは異なる干渉形態であるため、通常の干渉計算が適用できない。そこで、検討に当たっては市販ラジオ受信機による実験評価を利用した。

供試中波ラジオ受信機は、ラジオ C（シンセサイザ同調方式、中間周波数：450kHz）とラジオ D（アナログ同調方式、中間周波数：455kHz）である。

表 3.7.2-2　中間周波数帯の評価結果

中波ラジオ受信機が中間周波数帯の電波を受信した場合の干渉耐性は〇〇dBμV/m 以上となっており、離隔距離〇〇cm で前述の干渉耐性を満たすことが分かった。

3.7.3　家電機器用 WPT②（家庭・オフィス機器）

(1) 検討の進め方

図 3.7.3-1 に示すように、家電機器用 WPT②では、高調波が中波ラジオ帯へ帯域内干渉することについての検討を行う。

また、家電機器用 WPT②は、屋内で利用され、同一家庭に多数台存在しうるため、家庭内での電力加算も考慮して検討する。

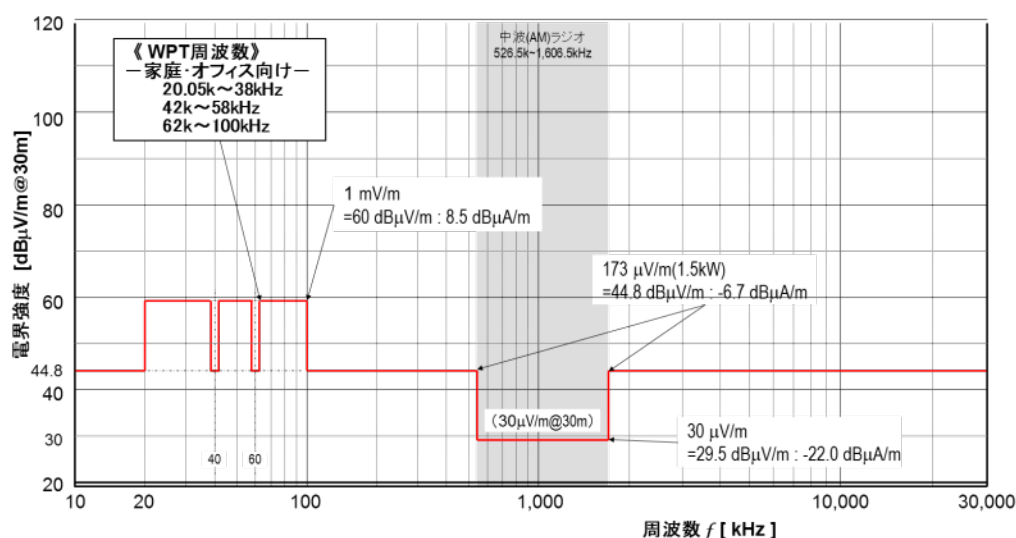



図 3.7.3-1　 WPT の想定スペクトラムマスクと中波ラジオの利用状況

(2) 干渉検討モデル

同一家屋内及び隣家どうしで想定される干渉検討モデルを図 3.7.3-2 に示す。WPT から中波ラジオへの与干渉における距離減衰を含まない伝搬減衰は L0～L8 である。(L4、L5、L6、L7 及び L8 は暫定)

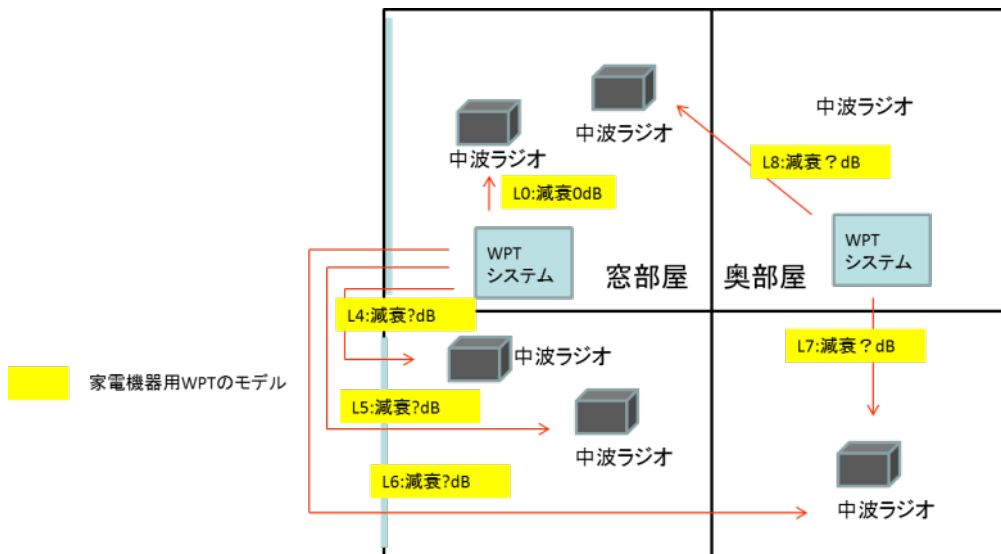



図 3.7.3-2　干渉検討モデル

さらに、家電機器用 WPT②については、家庭内での複数台利用がされる可能性があるため、以下のような干渉検討モデルも想定する。(L9 は暫定)

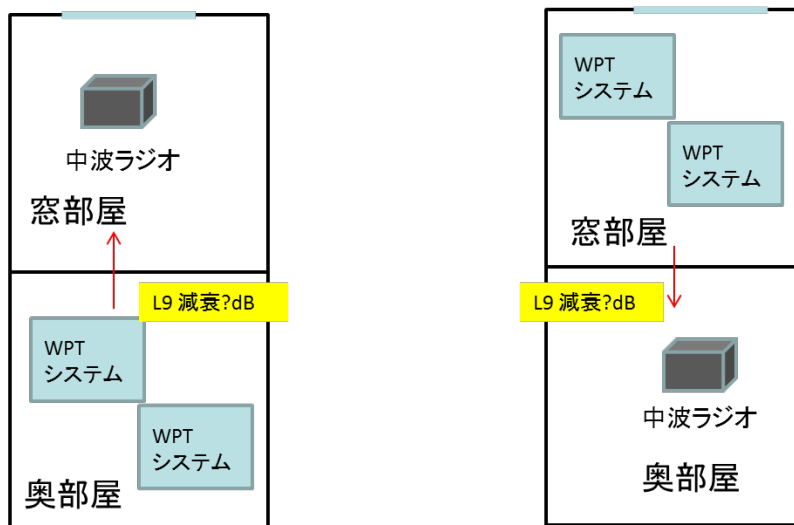



図 3.7.3-3　複数台利用時の干渉検討モデル

(3) 家庭内での複数台利用

図 3.7.3-3 に示す家庭内での複数台利用においては、利用周波数帯の中でひとつの周波数を選定し、無変調連続波で電力伝送するため、製造ばらつきによる伝送周波数のずれを考慮すると、電力伝送波が重なり電力加算される確率は、極めて低いと考えられる。

加えて、電力加算による干渉波レベルの増加を積極的に防止するため、電力周波数を意図的にランダムに設定する仕組みを付加することで、伝送周波数が重なることを防止できる。

(4) 検討結果

前述の干渉検討モデルと諸条件を考慮し、高調波が中波ラジオ帯へ帯域内干渉する場合の検討結果を表 3.7.3-1 に示す。所要離隔距離は 36.3m となった。

表 3.7.3-1 中波ラジオ帯域内の所要離隔距離計算結果

所要離隔距離の計算条件		漏えいレベル	建物内部に到達する際の減衰量	許容干渉レベル	所要離隔距離
		(dBuV/m @30m)	(dB)	(dBuV/m)	(m)
L0	同一部屋	29.5	0	26.0	36.3
L4	隣家　窓際同士	29.5	?	26.0	−
L5	隣家　WPT窓際−ラジオ窓部屋奥	29.5	?	26.0	−
L6	隣家　WPT窓際−ラジオ奥部屋	29.5	?	26.0	−
L7	隣家　奥部屋同士	29.5	?	26.0	−
L8	同一家屋内　WPT奥部屋−ラジオ窓部屋	29.5	?	26.0	−

3.7.4　電気自動車用 WPT

電気自動車用 WPT では、高調波が中波ラジオの放送帯域内に入るため、高調波についての検討を行う。

(1) 検討の進め方

電機自動車用 WPT は屋外に設置され、持ち運びが行われないことから、CISPR で定められている所要離隔距離 10m 及び「中波放送プリエンファシス懇談会報告書」における中波ラジオ帯の電波が建物内部に到達する際の減衰量を用いて検討する。

(2) 干渉検討モデル

干渉検討モデルを図 3.7.4-1 に示す。電気自動車用 WPT は屋外に設置され、屋内で使用している中波ラジオへの影響を検討する。窓から建物内部へ 50cm の地点における減衰量を 10dB、窓から建物内部へ 3m の地点における減衰量を 23dB、窓から建物内部へ 4m の地点における減衰量を 27dB とした。

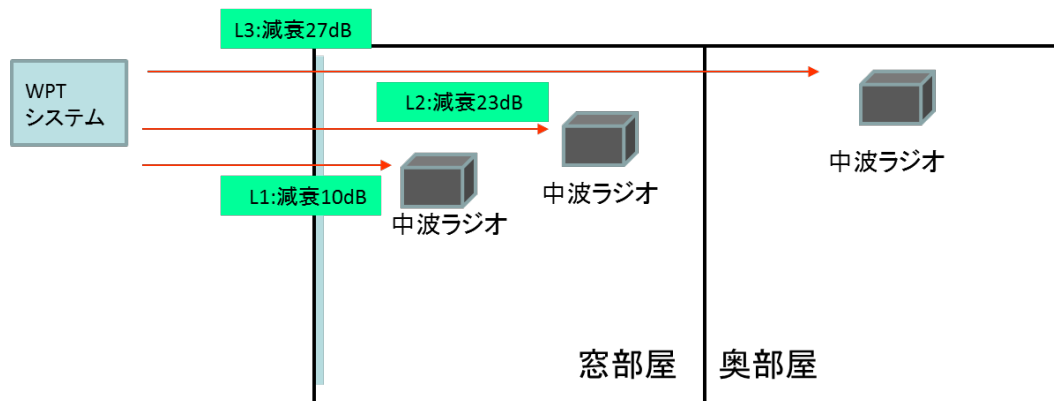



図 3.7.4-1　干渉検討モデル

(3) 干渉計算

前述したパラメータを用いて、所要離隔距離の計算を行った。

表 3.7.4-1　中波ラジオ帯域内の所要離隔距離計算結果

所要離隔距離の計算条件		漏えいレベル	建物内部に到達する際の減衰量	許容干渉レベル	所要離隔距離
		(dBuV/m @30m)	(dB)	(dBuV/m)	(m)
L0	屋外	29.5	0	26.0	36.3
L1	窓際（窓から50cm）	29.5	10	26.0	21.0
L2	窓際（窓から3m）	29.5	23	26.0	10.3
L3	窓際（窓から4m）	29.5	27	26.0	8.3

(4) 検討結果

以上の検討結果から、電気自動車用 WPT では、屋内受信の窓際から 3m で漏えいレベルが周囲雑音以下となり共用条件を満たしていることが分かった。

3.8　固定・移動無線との共用検討

3.8.1　家電機器用 WPT①（モバイル機器）

(1) 検討の進め方

家電機器用 WPT①の使用する周波数帯の 6,765-6,795 kHz との周波数重複がみられる固定・移動通信を行う無線局（以下、「無線局」という。）との周波数共用条件として、当該無線局の設置環境を考慮した所要離隔距離を 3.5km と定め、これを満足するための家電機器用 WPT①の漏えい電界強度を導出する。

(2) 干渉検討モデル

干渉検討モデルを図 3.8.1 に示す。家電機器用 WPT①（図において「ワイヤレス電力伝送システム」）は屋内に設置され、屋外で運用する無線局への影響を検討する。

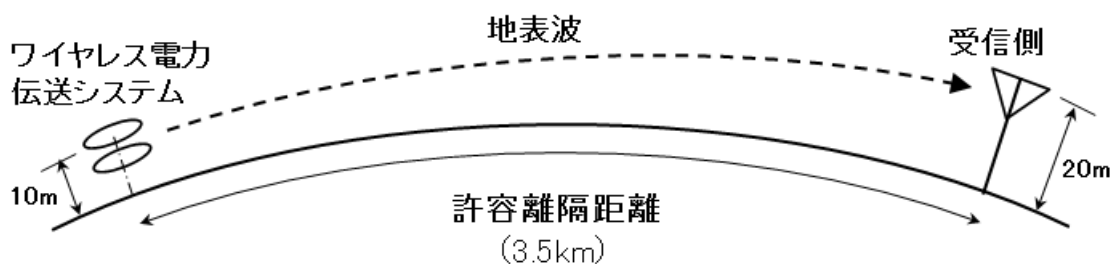



図 3.8.1　干渉検討モデル

(3) 干渉計算

ワイヤレス電力伝送システムからの漏えい電磁波は、上図の配置に対しては、ワイヤレス電力伝送システムと無線器受信アンテナの高さが波長より低いため、大地の湾曲に沿う地表波（グランドウェーブ）として伝搬する。ITU-R の勧告 P.368-7 では、周波数

10kHz-30MHz の地表波の電界強度を求めるための伝搬特性が勧告されており、図 3.8.2 に示すとおり、周波数 6MHz 付近の電磁波の地表波伝搬に対しては 40dB/decade の減衰特性が示されている。

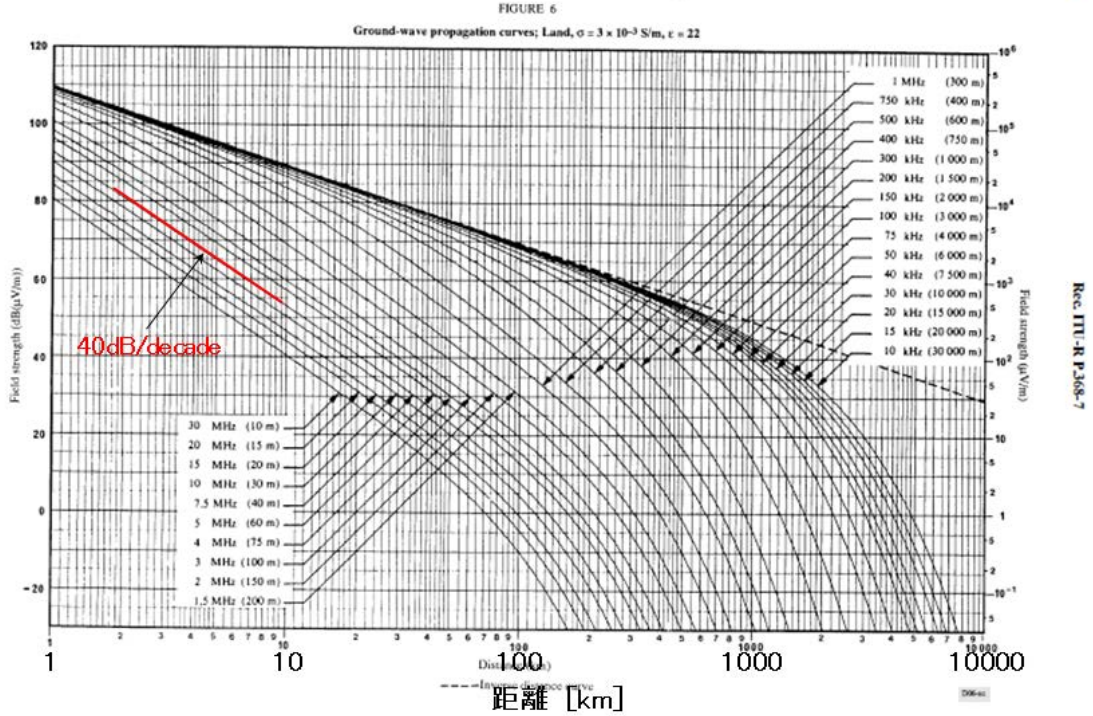



図 3.8.2　ITU-R 勧告 P.368-7 の地表波の伝搬特性
（大地の定数　導電率：3mS/m、比誘電率：22.0）

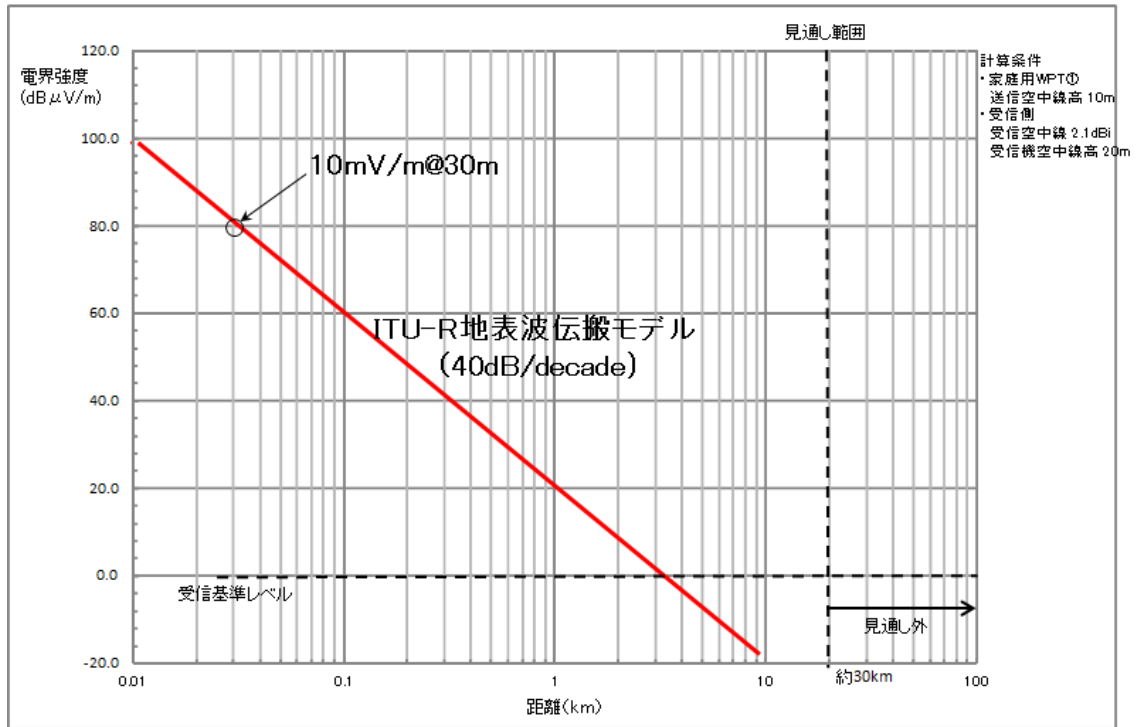



図 3.8.3　家庭用 WPT①機器の漏えい電界の伝搬特性計算値

従って、この 40dB/decade の減衰特性に対して、離隔距離が 3.5km となる漏えい電界強度の許容値は、図 3.8.3 に示すとおり、10mV/m@30m（=80dBμV/m@30m）となる。

(4) 検討結果

前述の干渉検討モデルと諸条件を考慮し、家電機器用 WPT①から固定・移動通信を行う無線局への有害な干渉を与えないための漏えい電界強度の許容値は、両者の使用する周波数が重複する場合において、10mV/m@30m となった。

第５章　電波防護指針への適合性

本節では､ワイヤレス電力伝送システムの電波防護指針への適合性確認を行うための評価方法について述べる。

5.1　電波防護指針等への適合確認について

電波が人体に与える影響については、これまで 50 年以上にわたって様々な研究がなされており、国際的なコンセンサスを得ている項目が数多くある。我が国では、これらの研究結果に基づき、電波のエネルギーが人体に好ましくない影響を及ぼさないよう、指針となる電波のエネルギー量等に関して､電波防護のための指針(電気通信技術審議会答申｢電波利用における人体の防護指針」（平成 2 年 6 月）及び「電波利用における人体防護の在り方」（平成 9 年 4 月）並びに情報通信審議会答申「局所吸収指針の在り方」（平成 23 年 5 月））を策定しており、これらに基づき、ワイヤレス電力伝送システムの運用形態に応じて、電波防護のための指針（以下､｢防護指針｣｡）に適合するようシステム設計に配慮する必要がある。

なお､防護指針の値は､十分な安全率を考慮した人体防護を前提としたものであることから､防護指針値を超えたからといってそれだけで人体に影響があるものではないことに注意が必要である。また､防護指針は､現時点において専門家が共通の認識に達している事項に基づいて記述されており、暫定的な性格も有している。したがって、今後、この分野における調査研究が進展し､科学的に裏付けされた根拠や新しい考え方が示された場合には､電波利用の状況や諸外国の状況等に応じて､防護指針の内容が改訂される可能性があることにも留意する必要がある。

5.1.1　対象

本評価の対象とするワイヤレス電力伝送システムは､高周波利用設備の各種設備に位置づけられているもののうち、50W を超える電力を使用するシステムとする。また、個別のワイヤレス電力伝送システムからの電波への人体ばく露に対する防護指針への適合性確認を評価するものであり､複数のワイヤレス電力伝送システムまたはその他の電波放射源からの電波が重複された場合の防護指針への適合性評価は対象としない。

5.1.2　ワイヤレス電力伝送に対する電波防護指針の適用

適用する防護指針値は、一般環境（条件Ｇ）の管理指針（電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針）とする。ただし、局所吸収指針が適用されない 10 kHz から 100 kHz の周波数領域において、人体がワイヤレス電力システムから 20 ㎝ 以内に近接する場合には基礎指針を適用する。なお、基礎指針には一般環境と職業環境（条件Ｐ）の区別がないため、基礎指針を適用する場合には管理指針で適用されている電力で 1/5（電磁界強度や電流密度では 1/√5）の安全率を考慮した値を適用する。

表　一般環境に相当する安全率を考慮した基礎指針値

⑴　全身平均 SAR の任意の 6 分間平均値が、0.08 W/kg 以下であること。 ⑵　10 kHz から 100 kHz までの周波数では、組織内の誘導電流密度が $0.16\times10^{-4}f$[Hz] mA/cm^2 以下であること。 ⑶　10 kHz から 100 kHz までの周波数では、接触電流などの体外からの流入電流が $4.5^{-3}f$[Hz]mA 以下（平均時間＜1 秒間）であること。また、100 kHz から 100 MHz までの周波数では、45 mA 以下（平均時間 6 分間）であること。 ⑷　上記の⑴、⑵及び⑶に加え、次の点に関して注意事項として考慮すること。 (a) 全身平均 SAR の任意の 6 分間平均値が 0.08 W/kg 以下であっても、任意の組織 1g 当りの SAR（6 分間平均値）が 1.6 W/kg（体表と四肢では 5 W/kg）を超えないことが望ましい。 (b) 3 GHz 以上の周波数においては、眼への入射電力密度（6 分間平均）が 2 mW/cm^2 以下とすること。

5.1.3　その他留意事項

ワイヤレス電力伝送システムが生活圏の近辺に設置され、利用者が電波波源に近接して使用する場合が多いことに鑑み、次の事項についても配慮することが必要である。

- ペースメーカー装着者がワイヤレス電力伝送システムを利用する場合は、担当医師の指示に従い、適切に評価・防護することが必要である。防護指針はペースメーカー装着者を対象とはしておらず、防護指針に適合していてもペースメーカーに影響を与える可能性があることに留意すること。
- 金属を身につけている場合や体内に金属を埋め込んでいる場合は、指針値以下の電磁界でも予想外の局所的な発熱などを引き起こす可能性があり、注意が必要である。

5.2　ワイヤレス電力伝送システムに適用すべき指針値

ワイヤレス電力伝送システムに適用すべき指針値は、当該装置から発生する電波の特性、設置状態・使用条件等によって異なる。適用すべき指針値の基本的な考えを下記に示す。

□全ての周波数領域において、熱作用に基づく指針値（平均時間 6 分間）を適用する。

□前項に加えて、10 kHz から 100 kHz までの周波数領域においては、刺激作用に基づく指針値（平均時間 1 秒未満）を適用する。

□人体が電波放射源および金属体から 20 cm 以上離れている場合には、不均一または局所的なばく露に関する補助指針を適用できる。

□人体が電波放射源および金属体から 20 cm 以内に近づく場合には、電磁界強度指針を入射電磁界強度の最大値に適用するか、または局所吸収指針（ただし、100 kHz 未満は基礎指針値に一般環境相当の安全率を考慮した値）を適用する。なお、電磁界強度指針の最大値を適用するためには、電波放射源から 20cm 以内の領域の電磁界を電磁界プローブで正確に測定できることが必要である。

□電界と磁界が 377Ω の関係にない近傍界曝露条件では、熱作用のうち全身平均 SAR に基づく指針値については電界と磁界のそれぞれの指針値に対する割合の自乗和が１を超えてないことを確認し、それ以外の指針値については電界と磁界のそれぞれの寄与による人体ばく露量（誘導電流密度や局所 SAR）のピーク位置が同一場所にならない場合には、電界と磁界のそれぞれについて指針値を超えないことを確認する。

ただし、電界と磁界のいずれかの影響が他方に比べて十分に小さい場合には、支配的な界についてのみ評価を行うことができる。その場合、電界の影響を適合性評価における不確かさに含むこと。

□適用すべき指針値の平均時間にわたり電界強度又は磁界強度が変動する場合には、平

均時間内で実効値の自乗平均平方根した値を指針値と比較する。

□電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合には、角周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求め、その総和が１を超えないことを確認する。

□接触ハザードが防止されていない場合には、電磁界強度指針の接触ハザードが防止されていない場合についての注意事項（注１）を適用するか、または接触電流に関する補助指針を適用する。

□3 MHz 以上の周波数領域で非接地条件が満たされない場合には、電磁界強度指針の非接地条件が満たされない場合についての注意事項（注２）を適用するか、または誘導電流に関する補助指針を適用する。

□電磁界強度指針は最悪のばく露条件を想定しているため、当該指針を超過していても直ちに防護指針に適合していないとはならない。そのため、電磁界強度指針を満足していなくとも、防護指針の根拠となる基礎指針により即している局所吸収指針（100kHz 未満においては基礎指針に一般環境に相当する安全率を考慮した値（5.1.2 節参照））を適用することで、防護指針への適合性を直接確認することができる。

□電界の影響が磁界の影響に比べて十分に小さく、かつ全身平均 SAR の適合性評価を行わなくとも誘導電流密度または局所 SAR の適合性評価をもって安全性が確認できる場合には、磁界強度に対して国際規格 IEC 62311 で規定されている結合係数を用いた評価により、誘導電流密度または局所 SAR に関する局所吸収指針（100kHz 未満においては基礎指針に一般環境に相当する安全率を考慮した値（xx.1.2 節参照））への適合性を確認することができる。

次節以降において、各ワイヤレス電力伝送システムに適用すべき指針値を示す。なお、各ワイヤレス電力伝送システムで想定している電波の特性や設置・使用条件を逸脱する場合には、上記の基本的な考えに基づき、適切な指針値を適用する必要がある。

5.2.1　電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

100 kHz 未満の電波を利用するシステムと 100 kHz 以上の周波数を利用するシステムに二分される。これらのシステムでは適用すべき指針値が異なるため、xx.2.1.1 および xx.2.1.2 において、それぞれの周波数領域の電波を利用するシステムについて適用すべき指針値を示す。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界と磁界は 377Ωの関係にない近傍界曝露条件となるため、電界と磁界のそれぞれについて指針値への適合性を確認する必要がある。ただし、電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムにおいては、外部電界による寄与が外部磁界に対して十分に小さいため、電界強度に関する適合性評価を行わなくとも、磁界強度のみに関する適合性評価をもって安全性を確認できる。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムは駐車場等に設置された送信コイルから駐車している車両に搭載された受信コイルに電力を伝送する。このため、送受信コイルは地面および車両下部に設置されており、電力伝送時には送受信コイルの 20㎝ 以内に人体が近接することはない。また、充電中の車体（金属体）から 20㎝ 以内の場所に人体が長時間にわたり立ち入ることは想定されていない。したがって、電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに対しては、不均一又は局所ばく露に関する補助指針を適用することができる。なお、充電中の車内に乗車するような状況は本評価手順の対象外であり、当該自動車の安全設備の範疇で対処されなくてはならない。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムは充電場所である駐車場周辺で、隣接する車両等の非接地の金属体等が存在する可能性があり、接触ハザードが防止されていると

はいえない。そのため、電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに対しては接触ハザードが防止されていない場合に適用される電磁界強度指針の注意事項（注２）または接触電流に関する補助指針を適用する必要がある。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムで利用される電波の周波数は3 MHz未満であるため、非接地条件が満たされない場合の電磁界強度の注意事項（注２）や誘導電流に関する補助指針を適用する必要はない。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムでは、各指針値の平均時間内の変動はほとんどないため、電磁界強度指針の注意事項（注３）を適用する必要はない。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムでは、単一の周波数を利用しており、当該周波数以外に指針値に対して無視できない複数の周波数は存在しないことから、電磁界強度指針の注意事項（注４）を適用する必要はない。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムは地面付近に設置されているため、人体ばく露量（誘導電流密度や局所ＳＡＲ）のピークは下肢付近に現れる。したがって、局所吸収指針（100 kHz 未満では基礎指針に一般環境に相当する安全率を考慮した値（xx.1.3 節））を適用する場合には、四肢における指針値を適用する。

5.2.1.1　100 kHz 未満の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

100 kHz 未満の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関しては、熱作用に基づく指針値に加えて、刺激作用に基づく指針値を適用する必要がある。

ただし、100 kHz 未満の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関しては、刺激作用に基づく誘導電流密度に関する指針値を満足する場合、熱作用のうち全身平均SARおよび局所SARに基づく指針値を満足することが確認されているため、適用すべき指針値は刺激作用に基づく誘導電流密度に関する指針値と接触ハザードが防止されていない場合に対する接触電流に関する指針値になる。

(1) 電磁界強度指針および補助指針

電磁界強度指針の表 3（b）の磁界強度に関する指針値を確認する。さらに、電磁界強度指針の表 3 の接触ハザードが防止されていない場合の注意事項（注 2）への適合性を確認する。

ワイヤレス電力伝送システム周辺の磁界強度の最大値が表 3(b)の磁界強度に関する指針値を超えている場合、不均一ばく露に関する補助指針を適用できる。

ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表3の注2を超えている場合、不均一ばく露に関する補助指針を適用できる。さらに、ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表 3 の注 2 を超えている場合、または表 3 の注 2 に関する不均一ばく露に関する補助指針を満足しない場合であっても、接触電流に関する補助指針を適用できる。

(2) 基礎指針

本節では一般環境に相当する安全率を考慮した値（xx.1.2 節）を対象とする。

誘導電流密度に関する基礎指針（２）を満足する場合、電磁界強度指針の表 3(b)の評価は必要ない。また、外部磁界に対して結合係数を用いた評価を行うことで、誘導電流密度に関する基礎指針（２）への適合性を確認することができる。

接触電流に関する基礎指針（３）は接触電流に関する補助指針と同じであるため、当該基礎指針値を適用する必要はない。

5.2.1.2 100 kHz 以上の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

100 kHz 以上の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関して

は、熱作用に基づく指針値のみを適用し、刺激作用に基づく指針値は適用しない。
ただし、100 kHz 以上の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関しては、局所 SAR に基づく指針値が満足される場合でも、必ずしも全身平均 SAR に関する指針値を満足するとはいえないため、適用すべき指針値は全身平均 SAR および局所 SAR に関する指針値と接触ハザードが防止されていない場合に対する接触電流に関する指針値になる。

(1) 電磁界強度指針および補助指針
電磁界強度指針の表 3（a）の磁界強度に関する指針値を確認する。さらに、電磁界強度指針の表 3 の接触ハザードが防止されていない場合の注意事項（注 2）への適合性を確認する。
ワイヤレス電力伝送システム周辺の磁界強度の最大値が表 3(a)の磁界強度に関する指針値を超えている場合、不均一ばく露に関する補助指針を適用できる。
ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表3の注2を超えている場合、不均一ばく露に関する補助指針を適用できる。さらに、ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表 3 の注 2 を超えている場合、または表 3 の注 2 に関する不均一ばく露に関する補助指針を満足しない場合であっても、接触電流に関する補助指針を適用できる。

(2) 局所吸収指針
四肢における局所 SAR の指針値を満足する場合、電磁界強度指針の表 3(a)の評価は必要ない。なお、100kHz 未満の電波を利用する電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムとは異なり、結合係数を用いた評価は適用できない。
接触電流に関する局所吸収指針は接触電流に関する補助指針と同じであるため、当該局所吸収指針値を適用する必要はない。

5.2.2 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①は 100 kHz 以上の周波数の電波を利用しているため、熱作用に基づく指針値のみを適用し、刺激作用に基づく指針値の評価は必要ない。
家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①周辺の電界と磁界は 377Ωの関係にない近傍界曝露条件となるため、電界と磁界のそれぞれについて指針値への適合性を確認する必要がある。ただし、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①においては、外部電界による寄与が外部磁界に対して十分に小さいため、電界強度に関する適合性評価を行わなくとも、磁界強度のみに関する適合性評価をもって安全性を確認できる。
家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①は主に屋内でのモバイル端末への充電に使用され、場合によっては充電中のノートＰＣ等を使用する可能性もある。したがって、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①に対しては、人体が 20 ㎝ 以内に近接する可能性があることから、不均一又は局所ばく露に関する補助指針を適用できない。
家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①は充電場所である屋内で、隣接する什器等の非接地の金属体等が存在する可能性があり、接触ハザードが防止されているとはいえない。そのため、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①に対しては接触ハザードが防止されていない場合に適用される電磁界強度指針の注意事項（注２）または接触電流に関する補助指針を適用する必要がある。
家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①は屋内で利用されるため、非接地条件は満足されているとみなせる。したがって、非接地条件が満たされない場合の電磁界強度の

注意事項（注２）や誘導電流に関する補助指針を適用する必要はない。
　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①では、各指針値の平均時間内の変動はほとんどないため、電磁界強度指針の注意事項（注３）を適用する必要はない。
　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①では、単一の周波数を利用しており、当該周波数以外に指針値に対して無視できない複数の周波数は存在しないことから、電磁界強度指針の注意事項（注４）を適用する必要はない。
　前述したとおり、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①は屋内の様々な場所に設置されているため、人体ばく露量(局所ＳＡＲ)のピークは人体の任意の部位に現れる。したがって、局所吸収指針を適用する場合には、より安全側の評価となる四肢以外の任意の組織における指針値を適用する。

(1) 電磁界強度指針および補助指針
　電磁界強度指針の表 3 (a) の磁界強度に関する指針値を確認する。さらに、電磁界強度指針の表 3 の接触ハザードが防止されていない場合の注意事項 (注 2) への適合性を確認する。
　ワイヤレス電力伝送システム周辺の磁界強度の最大値が表 3(a)の指針値を超えている場合、不均一ばく露に関する補助指針を適用できる。
　ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表3の注2を超えている場合、接触電流に関する補助指針を適用できる。

(2) 局所吸収指針
　四肢以外の任意の組織における局所 SAR の指針値を満足する場合、電磁界強度指針の表 3(a)の評価は必要ない。
　接触電流に関する局所吸収指針は接触電流に関する補助指針と同じであるため、当該局所吸収指針値を適用する必要はない。

5.2.3 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②
　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②は100 kHz 未満の周波数の電波を利用しているため、熱作用に基づく指針値とともに刺激作用に基づく指針値を適用する。ただし、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②に関しては、刺激作用に基づく誘導電流密度に関する指針値を満足する場合、熱作用のうち全身平均 SAR および局所 SAR に基づく指針値を満足することが確認されているため、適用すべき指針値は刺激作用に基づく誘導電流密度に関する指針値と接触ハザードが防止されていない場合に対する指針値になる。
　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②周辺の電界と磁界は 377Ωの関係にない近傍界曝露条件となるため、電界と磁界のそれぞれについて指針値への適合性を確認する必要がある。ただし、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②においては、外部電界による寄与が外部磁界に対して十分に小さいため、電界強度に関する適合性評価を行わなくとも、磁界強度のみに関する適合性評価をもって安全性を確認できる。
　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②は主に屋内での家電機器への充電に使用され、場合によっては充電中の家電機器を使用する可能性もある。したがって、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②に対しては、人体が 20 ㎝ 以内に近接する可能性があることから、不均一又は局所ばく露に関する補助指針を適用できない。
　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②は充電場所である屋内で、隣接する什器等の非接地の金属体等が存在する可能性があり、接触ハザードが防止されているとはいえない。そのため、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②に対しては接触ハザードが

防止されていない場合に適用される電磁界強度指針の注意事項（注２）または接触電流に関する補助指針を適用する必要がある。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②で利用される電波の周波数は3MHz未満であるため、非接地条件が満たされない場合の電磁界強度の注意事項（注２）や誘導電流に関する補助指針を適用する必要はない。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②では、各指針値の平均時間内の変動はほとんどないため、電磁界強度指針の注意事項（注３）を適用する必要はない。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②では、単一の周波数を利用しており、当該周波数以外に指針値に対して無視できない複数の周波数は存在しないことから、電磁界強度指針の注意事項（注４）を適用する必要はない。

(1) 電磁界強度指針および補助指針

電磁界強度指針の表 3（b）の磁界強度に関する指針値を確認する。さらに、電磁界強度指針の表3の接触ハザードが防止されていない場合の注意事項（注2）への適合性を確認する。

ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表3の注2を超えている場合、接触電流に関する補助指針を適用できる。

(2) 基礎指針

本節では一般環境に相当する安全率を考慮した値（xx.1.2節）を対象とする。

誘導電流密度に関する基礎指針（２）を満足する場合、電磁界強度指針の表 3(b)の評価は必要ない。

接触電流に関する基礎指針（３）は接触電流に関する補助指針と同じであるため、当該基礎指針値を適用する必要はない。

5.2.4 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③は100kHz以上の周波数の電波を利用しているため、熱作用に基づく指針値のみを適用し、刺激作用に基づく指針値の評価は必要ない。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③周辺の電界と磁界は 377Ωの関係にない近傍界曝露条件となるため、電界と磁界のそれぞれについて指針値への適合性を確認する必要がある。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③は主に屋内でのモバイル端末への充電に使用され、場合によっては充電中のノートＰＣ等を使用する可能性もある。したがって、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③に対しては、人体が20㎝以内に近接する可能性があることから、不均一又は局所ばく露に関する補助指針を適用できない。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③は充電場所である屋内で、隣接する什器等の非接地の金属体等が存在する可能性があり、接触ハザードが防止されているとはいえない。そのため、家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③に対しては接触ハザードが防止されていない場合に適用される電磁界強度指針の注意事項（注２）または接触電流に関する補助指針を適用する必要がある。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③で利用される電波の周波数は3MHz未満であるため、非接地条件が満たされない場合の電磁界強度の注意事項（注２）や誘導電流に関する補助指針を適用する必要はない

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③では、各指針値の平均時間内の変動はほとんどないため、電磁界強度指針の注意事項（注３）を適用する必要はない。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③では、単一の周波数を利用しており、当該

周波数以外に指針値に対して無視できない複数の周波数は存在しないことから、電磁界強度指針の注意事項（注４）を適用する必要はない。

家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③は屋内の様々な場所に設置されているため、人体ばく露量（局所ＳＡＲ）のピークは人体の任意の部位に現れる。したがって、局所吸収指針を適用する場合には、より安全側の評価となる四肢以外の任意の組織における指針値を適用する。

(1) 電磁界強度指針および補助指針

電磁界強度指針の表 3(a)の電界強度および磁界強度に関する指針値を確認する。さらに、電磁界強度指針の表 3 の接触ハザードが防止されていない場合の注意事項（注 2）への適合性を確認する。

ワイヤレス電力伝送システム周辺の電界強度の最大値が表 3 の注 2 を超えている場合、接触電流に関する補助指針を適用できる。

(2) 局所吸収指針

全身平均 SAR および四肢以外の任意の組織における局所 SAR の指針値を満足する場合、電磁界強度指針の表 3(a)の評価は必要ない。

接触電流に関する局所吸収指針は接触電流に関する補助指針と同じであるため、当該局所吸収指針値を適用する必要はない。

5.2.5 ワイヤレス電力伝送において適用すべき指針値のパターン

ワイヤレス電力伝送システムからの漏えい電波が人体に与える影響の評価を行う場合には、次節以降に示す適用すべき指針値のパターンのいずれかを満足すれば、電波防護指針に適合しているとみなせる。パターン①は最も簡便に評価できるが、人体の電波吸収量が最大となる最悪のばく露条件を想定しているため、過剰に厳しい評価となる。パターンの数字が大きくなるほど、より詳細な評価が必要になるが、より大きな電波ばく露量を許容することが可能となる。

5.2.5.1　電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

（100kHz 未満のシステム）

人体が接触又は近接(20cm以内)したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性:なし(又は極めて低い)							
接触ハザード			接触ハザードが防止されていない				
非接地条件			対象外				
評価方法の分類			パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR					
		局所SAR					
	誘導電流密度						基礎指針（安全率1/√5を付加）
	接触電流			接触電流に関する補助指針		接触電流に関する補助指針	接触電流に関する補助指針
	足首誘導電流						
	外部電界		電磁界強度指針注意事項1 ※1		電磁界強度指針注意事項1 ※1		
			※1：不均一ばく露に関する補助指針も適用可		※1：不均一ばく露に関する補助指針も適用可		
	外部磁界		電磁界強度指針表3(b) ※1	電磁界強度指針表3(b) ※1	結合係数による誘導電流密度評価	結合係数による誘導電流密度評価	
			※1：不均一ばく露に関する補助指針も適用可				

（100kHz 以上のシステム）

人体が接触又は近接(20cm以内)したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性:なし(又は極めて低い)						
接触ハザード			接触ハザードが防止されていない			
非接地条件			対象外			
評価方法の分類			パターン①	パターン②	パターン③	パターン④
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR				
		局所SAR				局所吸収指針
	誘導電流密度					
	接触電流			接触電流に関する補助指針	接触電流に関する補助指針	接触電流に関する補助指針
	足首誘導電流					
	外部電界		電磁界強度指針注意事項1 ※1			
			※1：不均一ばく露に関する補助指針も適用可			
	外部磁界		電磁界強度指針表3(a) ※1	電磁界強度指針表3(a) ※1	結合係数による局所SAR評価 ※2	
			※1：不均一ばく露に関する補助指針も適用可		※2：全身平均SARの評価が不要の場合に限る	

5.2.5.2　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①

人体が接触又は近接(20cm以内)したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性			あり			
接触ハザード			接触ハザードが防止されていない			
非接地条件			非接地条件が満たされている			
評価方法の分類			パターン①	パターン②	パターン③	パターン④
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR				局所吸収指針
		局所SAR				局所吸収指針
	誘導電流密度					
	接触電流			接触電流に関する補助指針	接触電流に関する補助指針	局所吸収指針
	足首誘導電流					
	外部電界		電磁界強度指針注意事項1 ※1			
			※1：不均一ばく露に関する補助指針は適用不可			
	外部磁界		電磁界強度指針表3(a) ※1	電磁界強度指針表3(a) ※1	結合係数による局所SAR評価 ※2	
			※1：不均一ばく露に関する補助指針は適用不可		※2：全身平均SARの評価が不要の場合に限る	

5.2.5.3　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②

人体が接触又は近接(20cm以内)したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性：あり							
接触ハザード			接触ハザードが防止されていない				
非接地条件			対象外				
評価方法の分類			パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR					
		局所SAR					
	誘導電流密度						基礎指針(安全率1/√5を付加)
	接触電流			接触電流に関する補助指針		接触電流に関する補助指針	接触電流に関する補助指針
	足首誘導電流						
	外部電界		電磁界強度指針注意事項1 ※1		電磁界強度指針注意事項1 ※1		
			※1：不均一ばく露に関する補助指針は適用不可				
	外部磁界		電磁界強度指針表3(b) ※1	電磁界強度指針表3(b) ※1	結合係数による誘導電流密度の評価	結合係数による誘導電流密度の評価	
			※1：不均一ばく露に関する補助指針は適用不可				

5.2.5.4　家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③

人体が接触又は近接(20cm以内)したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性:あり						
接触ハザード			接触ハザードが防止されていない			
非接地条件			対象外			
評価方法の分類			パターン①	パターン②	パターン③	パターン④
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR				局所吸収指針
		局所SAR				局所吸収指針
	誘導電流密度					
	接触電流			接触電流に関する補助指針	接触電流に関する補助指針	局所吸収指針
	足首誘導電流					
	外部電界		電磁界強度指針表3(a) 電磁界強度指針注意事項1 ※1	電磁界強度指針表3(a) ※1	電磁界強度指針表3(a) ※1	
			※1：不均一ばく露に関する補助指針は適用不可			
	外部磁界		電磁界強度指針表3(a) ※1	電磁界強度指針表3(a) ※1	結合係数による局所SAR評価 ※2	
			※1：不均一ばく露に関する補助指針は適用不可		※2：全身平均SARの評価が省略できる場合に限る	

5.3　ワイヤレス電力伝送システムの適合性確認のための評価方法

ワイヤレス電力伝送システムにおいて、防護指針への適合性を評価するために必要な技術的事項等を以下に示す。なお、ここで示した評価方法は、防護指針の見直し及び評価技術の進歩に対応して、漸次、追加又は見直しを行う必要がある。

測定値を指針値と比較する際には、測定値に含まれる不確かさを求め、拡張不確かさが30%を超える場合には IEC62311 国際規格の方法に基づき、適用する指針値を補正すること。詳細は付録Ｄを参照すること。

5.3.1 電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

5.3.1.1 100kHz 未満の電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

(1) パターン①

ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。なお、不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。なお、不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(2) パターン②

ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。なお、不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体周辺に非接地の金属体を設置し、接触電流を測定し、接触電流に関する補助指針の指針値よりも低いことを確認する。接触電流測定に関する基本的要件は付録Ｃを参照すること。

(3) パターン③

ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における磁界強度を測定し、測定された磁界強度の最大値に結合係数を乗じ、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照し、結合係数の求め方については付録Ｄを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。なお、不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(4) パターン④

ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における磁界強度を測定し、測定された磁界強度の最大値に結合係数を乗じ、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な

要件は付録Ｂを参照し、結合係数の求め方については付録Ｄを参照すること。

次に､ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体周辺に非接地の金属体を設置し、接触電流を測定し、接触電流に関する補助指針の指針値よりも低いことを確認する。接触電流測定に関する基本的要件は付録Ｃを参照すること。

5.3.1.2 100kHz 以上の電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム

(1) パターン①

ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。なお、不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する｡なお､不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(2) パターン②

ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体から 20cm の距離における磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。なお、不均一ばく露に関する補助指針を適用することもできる。その場合の空間平均値は大地面から 0.5m, 1m, 1.5m の 3 点の測定値の平均値とすることができる。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に､ワイヤレス電力伝送システムにより充電している車体周辺に非接地の金属体を設置し、接触電流を測定し、接触電流に関する補助指針の指針値よりも低いことを確認する。接触電流測定に関する基本的要件は付録Ｃを参照すること。

5.3.2 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム①

(1) パターン①

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に､ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(2) パターン②

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システム周辺に非接地の金属体を設置し、接触電流を測定し、接触電流に関する補助指針の指針値よりも低いことを確認する。接触電流測定に関する基本的要件は付録Ｃを参照すること。

5.3.3 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム②

(1) パターン①

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(2) パターン②

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の磁界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システム周辺に非接地の金属体を設置し、接触電流を測定し、接触電流に関する補助指針の指針値よりも低いことを確認する。接触電流測定に関する基本的要件は付録Ｃを参照すること。

(3) パターン③

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の磁界強度を測定し、測定された磁界強度の最大値に結合係数を乗じ、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照し、結合係数の求め方については付録Ｄを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(4) パターン④

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の磁界強度を測定し、測定された磁界強度の最大値に結合係数を乗じ、電磁界強度指針値の表３（ｂ）の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照し、結合係数の求め方については付録Ｄを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システム周辺に非接地の金属体を設置し、接触電流を測定し、接触電流に関する補助指針の指針値よりも低いことを確認する。接触電流測定に関する基本的要件は付録Ｃを参照すること。

5.3.4 家電機器用ワイヤレス電力伝送システム③

(1) パターン①

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度および磁界強度を測定し、それぞれ測定された最大値と磁電磁界強度指針値の表３（ａ）の指針値の比率の二乗和を計算し、１より小さいことを確認する。電界測定に関する基本的な要件は付録Ａを、磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

(2) パターン②

ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度お

よび磁界強度を測定し、それぞれ測定された最大値と磁電磁界強度指針値の表３（ａ）の指針値の比率の二乗和を計算し、１より小さいことを確認する。電界測定に関する基本的な要件は付録Ａを、磁界測定に関する基本的な要件は付録Ｂを参照すること。

次に、ワイヤレス電力伝送システムに人体が最も近接する位置を含む領域の電界強度を測定し、電磁界強度指針値の表３（ａ）の注１の指針値よりも低いことを確認する。磁界測定に関する基本的な要件は付録Ａを参照すること。

5.4 安全装置のあり方

電磁波源が電磁環境の発生源であることから、電磁波源側で人体を電磁界から護る対策を講ずる必要がある。対策の構成としては、電磁波源等をハード面及びソフト面の２つの側面から捉え、その効果を最大限発揮できるような対策を適用する必要がある。

（ハード面の対策）

利用状態において一定範囲に人が立ち入れないような状態にする、受電コイルが存在しない場合に送電を開始しない、送電及び受電コイルの間に人体が入った場合に送電を停止する、機器の異常状態を感知し送電を停止する等の方法がある。

（ソフト面の対策）

ワイヤレス電力伝送システムから放射される電波の強さに関する情報提供を行う、安全管理マニュアルや機器の操作説明等において、防護に関して必要な情報を明示する等の方法がある。

なお、電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムを搭載している車内の人体の安全性は安全装置の枠組みで担保されるべきものであり、本報告で規定している評価方法は適用できない。

5.5 諸外国の現状

5.5.1 各国の規制について

5.5.1.1 FCC

・

5.5.1.2 EU

・

5.5.1.3 韓国

・

5.5.2 ガイドライン

5.5.2.1 ICNIRP 2010 ELF ガイドライン（1～10 MHz）

ICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）によるガイドラインは，現在まで最も広く受け入れられている人体防護ガイドラインであり，1998 年に制定されたのち[1]，100 kHz 以下の低周波・中間周波領域以下において，2010 年に改定がなされた[2]。本ガイドラインは，強制力はないが，米国を除く欧州各国を中心に影響力を持っている。

1998 年に発行された ICNIRP ガイドライン（以下，旧ガイドライン）[1]は，長らく各国において，電磁界の安全性評価の根拠として用いられてきた（独自の IEEE による安全基準[3],[4]を有する米国を除く）が，2007 年の WHO による国際電磁界プロジェクトの結果公表を契機に改定が行われることとなり，まず 1 Hz から 100 kHz の低周波領域について，2010 年 11 月に新 ICNIRP 低周波ガイドラインが公表された[2]。

ICNIRP ガイドラインでは，電磁界ばく露制限の指針値として，体内の誘導量で規

定される「基本制限」（確立された健康影響を直接的な根拠とする）と，電磁界の大きさで規定される「参考レベル」（基本制限から導出される参考値）の２段階の指標が扱われ，基本制限の遵守に重点が置かれたものとなっている。参考レベルを満たせば基本制限が満たされることとなり，参考レベルを超えた場合は，基本制限との適合性評価を別途行うことになる。ばく露対象として，職業的なばく露と公衆へのばく露の２区分に分類され，公衆ばく露に対して，より厳しい指針値が示されている。

旧ガイドライン(1)では，体内誘導量で示された遵守すべき基準値である「基本制限」の指標として，「体内誘導電流密度」が用いられ，脳や脊髄など中枢神経系（CNS: central nervous system）の組織を対象に「電流が直交する 1 cm^2 断面の平均値」を用いて評価することが規定されていた。これに対し，新 ICNIRP 低周波ガイドライン(2)では，基本制限の評価指標として，従来の体内誘導電流密度に代わり，体内誘導電界（*in situ* 電界）が用いられることとなり，基本制限を適用する対象部位についても変更され，「頭部の CNS 組織」および「頭部および身体（body）の全組織」の２種類の対象に対して，異なる生体作用の閾値に基づき，異なる基本制限値が示されることとなった。表 5.1 に新 ICNIRP ガイドラインの基本制限を示す。なお，本ガイドラインのタイトルにある適用周波数の上限は周波数 100kHz であるが，体内誘導電界に基づく基本制限および後述の参考レベルは，旧ガイドラインと同様に，10 MHz までの指針値が示されている。

「頭部の CNS 組織（脳および網膜）への基本制限」は，網膜における閃光現象に基づくもので，職業ばく露に対し，網膜における閃光を回避するために，頭部の CNS 組織（脳および網膜）の誘導電界を 50 mV/m 以下（25 Hz）の値に制限すべきであるとし，この制限により他の脳機能への影響も回避できるものとしている。閃光の閾値に基づく基本制限値は 10 Hz～25 Hz において一定であり，それ以上の周波数では周波数に比例する。このため，商用周波数での体内誘導電界の基本制限値（職業ばく露）は，100 mV/m（50 Hz），120 mV/m （60 Hz）となった（公衆ばく露はこれらの 1/5 の値）。

一方，「頭部および身体の全組織」の基本制限は，末梢神経系の刺激の閾値に基づくもので，反応の閾値 4 V/m（3 kHz 以下で一定，それ以上の周波数では周波数に比例）に不確かさを考慮し，低減係数 5 を適用した値（0.8 V/m）を職業ばく露の基本制限値とし，同じ反応の閾値に低減係数 10 を適用した値（0.4 V/m）を公衆ばく露の基本制限値とした。

これらの基本制限との適合性評価を行う際の評価指標として，新ガイドラインでは，人体モデル内誘導電界の「辺長 2 mm の立方体空間での平均」を計算し，「評価対象組織の 99 パーセンタイル値」を評価した上，さらに「網膜と皮膚を除き，平均化する空間に他組織を含む場合はこれを除外する」処理を行うものとされ，高い解像度を有する数値人体モデルを用いた数値計算を想定した詳細 な評価手法が本文中に明記されることとなった。

ICNIRP ガイドラインでは，適合性確認の便宜のために，基本制限より計算により求めた等価な外部磁界の参考レベルが示されている（表 5.2）。また，磁界参考レベルの各周波数に対する値を図 5.1 に示す。図 5.1 では，旧 ICNIRP ガイドライン(1) および後述の IEEE 規格(3),(4)との比較も示している。

基本制限から参考レベルの導出にあたっては，詳細な人体モデルを用いた数値計算の結果が参照されている。なお，旧ガイドラインから磁界参考レベルの数値に変更が見られているが，これらは基本制限の評価指標の変更（体内誘導電流密度から体内誘導電界へ），磁気閃光を考慮したこと，ならびに換算時の数値計算モデルの変更に伴うものと理解できる。また，併せて 100 kHz から 10 MHz における参考レベルの値を示しているが，新 ICNIRP(2)と旧 ICNIRP(1)で相違がある．これは，旧 ICNIRP ガイド

ラインでは，刺激からの防護のための瞬時値に加え，熱からの防護のための時間平均値からの防護を想定しているためである．（新ガイドラインでは，参考レベルについては，RF 帯における SAR に基づく参考レベルも合わせて考慮する必要があることが記載されている)。

表 5.5.2.1-1　新 ICNIRP 低周波ガイドライン(1)における基本制限

ばく露特性	対象部位	周波数範囲	体内誘導電界(V□m)
職業 ばく露	頭部 CNS 組織	1 Hz -10Hz	$0.5/f$
		10 Hz -25 Hz	0.05
		25 Hz -400 Hz	$2 \times 10^{-3} f$
		400 Hz -3 kHz	0.8
		3 kHz-10 MHz	$2.7 \times 10^{-4} f$
	頭部および身体の全組織	1 Hz -3 kHz	0.8
		3 kHz-10 MHz	$2.7 \times 10^{-4} f$
公衆 ばく露	頭部 CNS 組織	1 Hz -10Hz	$0.1/f$
		10 Hz -25 Hz	0.01
		25 Hz -1000 Hz	$0.4 \times 10^{-3} f$
		1000 Hz -3 kHz	0.4
		3 kHz-10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} f$
	頭部および身体の全組織	1 Hz -3 kHz	0.4
		3 kHz-10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} f$

- fは Hz を単位とした周波数。
- 全ての値は実効値。
- 100 kHz 以上の周波数では，RF に特有な基本制限を同時に考慮する必要がある。

表 5.5.2.1-2　新 ICNIRP 低周波ガイドライン(1)における
電界・磁界の参考レベル(無擾乱 rms 値)

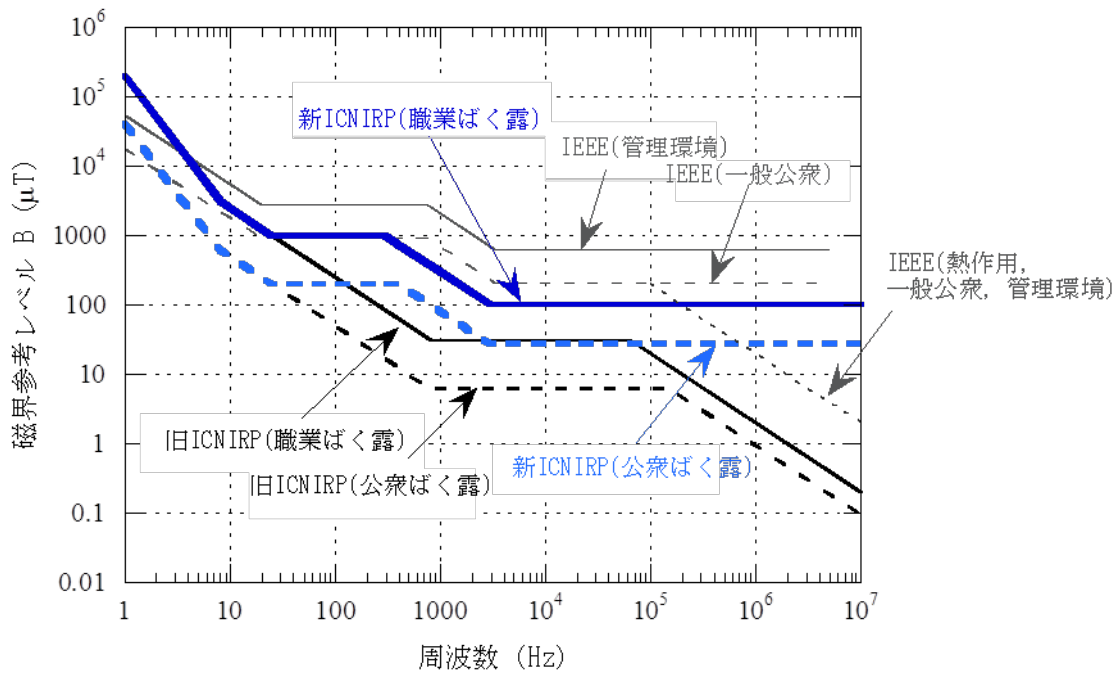
ばく露特性	周波数範囲	電界強度(kV/m)	磁束密度 (T)
職業ばく露	1 Hz -8 Hz	20	$0.2/f^2$
	8 Hz - 25 Hz	20	$2.5 \times 10^{-2}/f$
	25 Hz - 300 Hz	$5 \times 10^{2}/f$	1×10^{-3}
	300 Hz - 3 kHz	$5 \times 10^{2}/f$	$0.3/f$
	3 kHz - 10 MHz	1.7×10^{-1}	1×10^{-4}
公衆ばく露	1 Hz -8 Hz	5	$0.04/f^2$
	8 Hz - 25 Hz	5	$0.5 \times 10^{-2}/f$
	25 Hz - 50 Hz	5	0.2×10^{-3}
	50 Hz - 400 Hz	$2.5 \times 10^{2}/f$	0.2×10^{-3}
	400 Hz - 3 kHz	$2.5 \times 10^{2}/f$	$0.08/f$
	3 kHz - 10 MHz	0.83×10^{-1}	0.27×10^{-4}

注）表中の f の単位は Hz。非正弦波および複数周波数へのばく露の評価方法については、本文に別途記載がある。
100 kHz 以上の周波数では，RF に特有な参考レベルを同時に考慮する必要がある。

新 ICNIRP 低周波ガイドラインの基本制限との適合性評価のための体内 誘導電界の数値計算においては，2 mm の解像度を有する人体モデルが開発されており，本モデルを用いて，新 ICNIRP 低周波ガイドラインにおける指標の「辺長 2mm の立方体空間での平均の 99 パーセンタイル値」の評価を行うことができる。一方，局所的なば

く露に対して 99 パーセンタイル値を用いると過小評価する可能性がある場合があり，取扱いについては検討を要する(5).

10MHz 以上の熱作用からの防護においても，確立した健康影響に関する研究成果に基づき，基準値が設定されている。基本的な考え方は，ICNIRP ガイドライン，後述の IEEE 規格は同様であり，主として人体に吸収されたエネルギーによる発熱の影響が考慮されており，指標として比吸収率すなわち Specific Absorption Rate（SAR）が用いられる。最も重要な指針値は全身に吸収されたエネルギーによる熱ストレスの影響であり，動物の種類や周波数等にかかわらず，全身平均 SAR が約 4～8 W/kg で現れ，深部体温の 1℃程度上昇することが管理すべきレベルと考えられている。これに基づき，全身平均 SAR が職業環境で 0.4 W/kg，一般環境では 0.08 W/kg を超えないことが防護指針レベル値の根拠とされている。一方で，局所的な電磁界ばく露に対しては，白内障等の局所的な組織温度の上昇による影響を考慮しており，ICNIRP では，任意の組織 10 グラムあたりの局所 SAR が 2 W/kg（一般環境）を超えないこととしている。

図 5.5.2.1-1　新旧 ICNIRP 低周波ガイドライン(1,2)における磁界参考レベルの比較
（10MHz までを表示，後述の IEEE 規格(3,4)との比較も示す）

5.5.2.2 ICNIRP 1998 RF ガイドライン（0～300 GHz）のうち熱作用に基づく 100kHz～300GHz

5.5.2.3 IEEE C95.1、C95.6

米国 IEEE（米国電気電子学会）より発行された安全基準に関する規格は，3 kHz を境に異なる規格となっており，低周波側は，2002 年に発行された C95.6，「0 Hz～3 kHz の電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについての IEEE 規格」[(3)]，高周波側は，2005 年に改定された C95.1「3 kHz～300 GHz の無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについての IEEE 規格[(4)]」である。これらは，米国を中心に影響力を持ち，国際規格としての意味合いも持っている。IEEE 規格も ICNIRP と同様に基本制限と参考レベル（MPE：maximum permissive exposure と呼ばれる）の２段階構成であり，基本制限として誘導電界が用いられており，部位ごとに値が異なっている（表 5.3 に基本制限を，表 5.4 に頭部および胴体へのばく露に対する最大許容ばく露を，表 5.5 に四肢に対する最大許容ばく露を示す）。低周波では眼内閃光が，中間周波では末梢神経系への刺激が，基本制限の決定要因となっている。また，ICNIRP での「公衆ばく露」，「職業ばく露」の区分は，「管理環境」「非管理環境（低周波では一般公衆）」という呼称になっている.

基準となる誘導電界（管理環境における，脳に対する基本制限）は，50 Hz において 44.3 mV/m であり，これは周波数比例となる。50 Hz での対応する外部磁界は，2.71 mT である（50 Hz，60 Hz では同じ）。すなわち，0.1 mT，50 Hz の一様磁界に対して，1.63 mV/m という換算となる（なお，心臓や四肢に対しては異なる換算が与えられている）。

商用周波数では，磁気閃光反応に基づく指針値となっており，用いられた誘導電界換算モデルは脳を模擬する楕円断面（半長径 a = 10.5 cm，半短径 b = 9.0 cm）であり，一様磁界ばく露時に生じる最大誘導電界を下記解析式により評価している。

$$E = 2\pi fB \cdot a^2b/(a^2+b^2) \qquad (5.1)$$

ここに，E: 誘導電界，B: 磁束密度，f: 周波数であり，0.1 mT，50 Hz の一様磁界に対して，1.63 mV/m と計算される。中間周波帯に関する記述はないものの，楕円断面積が最大となる胴体（半長径 a = 17 cm，半短径 b = 90 cm）に対する一様磁界ばく露時に生じる最大誘導電界をもとに考察することとなる。

IEEE 規格では，磁界参考レベルが大きく適合性評価においては，磁界参考レベルとの比較により満足することがほとんどであることが予想されるが，IEEE 規格における基本制限との比較においては，平均化距離として，「あらゆる方向の 5 mm の長さを考慮」することとしている。一様電界あるいは磁界ばく露に対する体内誘導電界の数値計算において，5 mm 長平均の誘導電界と ICNIRP ガイドラインが示す一辺 2 mm の立法体形状の平均誘導電界を比較した場合，その差異は高々30%程度であることが報告されている[(6)]。

100kHz 以上の熱作用については，ICNIRP ガイドラインと同様であり，主として人体に吸収されたエネルギーによる発熱の影響が考慮されており，指標として SAR が用いられる。全身平均 SAR が職業環境で 0.4 W/kg，一般環境では 0.08 W/kg を超えないことが防護指針レベル値の根拠とされている。一方で，局所的な電磁界ばく露に対しては，白内障等の局所的な組織温度の上昇による影響を考慮しており，わが国や ICNIRP では，任意の組織 10 グラムあたりの局所 SAR が 2 W/kg（一般環境）を超えないこととしている。局所 SAR に関しては，生物学的根拠が必ずしも明確でないことから，局所 SAR の指針値については世界各国で異なるものが採用されていた。特に，主に米国等で採用されている 1 g 平均 SAR と欧州や日本で採用されている 10 g 平均 SAR の違いが大きくクローズアップされていたが，2005 年に IEEE 規格[(4)]において 1 g 平均 SAR から 10 g 平均 SAR に変更され，調和が図られている。

現在，IEEE 規格の改定作業が行われており，現行の楕円断面モデルに対し，詳細人体モデルを適用することの検討が行われるとともに，低周波と高周波を合冊とする

方向で作業が進められている。

表 5.5.2.3-1 IEEE 規格[3,4]における基本制限

ばく露部位	f_e (Hz)	一般公衆* E_O (V/m-rms)	管理環境 E_O (V/m-rms)
脳	20	5.89×10^{-3}	1.77×10^{-2}
心臓	3350	0.943	0.943
手，手首，脚，足首	3350	2.10	2.10
他の組織	3350	0.701	2.10

表の解釈は次のとおり：
周波数 $f \leqq fe$ に対しては $E_i = E_O$，周波数 $f \geqq fe$ に対しては，$E_i = E_O$（f / fe）.
（E_O：生体内電界，fe：生体内電界の周波数パラメータ，E_i：生体内電界の最大許容値）
本表の電界の制限に加えて，10 Hz 以下の磁界は，ピーク値 167 mT（一般公衆），500 mT（管理環境）に制限される.
*「一般公衆」のカテゴリーは，IEEE C95.1[4]では，「アクションレベル」

表 5.5.2.3-2 IEEE 規格[3,4]における磁界最大許容ばく露：
頭部および胴体へのばく露

周波数帯域 (Hz)	一般公衆* B (mT-rms)	管理環境 B (mT-rms)
< 0.153	118	353
0.153 - 20	18.1/f	54.3/f
20 - 759	0.904	2.71
759 - 3350	687/f	2061/f
3350 - 5 MHz	0.205	0.615

実効値を測定するためのアベレージング時間は，10Hz 以上では，10 秒間。
それ以下の周波数では，最低 10 サイクルが含まれること，ただし最大 1 分間。
*「一般公衆」のカテゴリーは，3 kHz 以上[4]では，「アクションレベル」

表 5.5.2.3-3 IEEE 規格[3,4]における磁界最大許容ばく露：
四肢へのばく露

周波数帯域 (Hz)	一般公衆* B (mT-rms)	管理環境 B (mT-rms)
< 10.7	353	353
10.7 - 3350	3793/f	3793/f
3350 - 5 MHz	1.13	1.13

＊「一般公衆」のカテゴリーは，3 kHz 以上[4]では，「アクションレベル」

参考文献

(1) ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, Health Physics, Vol. 74, pp. 494-522 (1998)
(2) ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)”, Health Physics, vol. 99, pp. 818-836 (2010)
(3) IEEE: “IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3 kHz”, IEEE Std C95.6 (2002)
(4) IEEE: “IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz”, IEEE Std C95.1 (2005)
(5) I. Laakso and A. Hirata, ″Reducing the staircasing error in computational dosimetry of low-frequency electromagnetic fields,″ Physics in Medicine and Biology, vol. 57, p. N25-N34 (2012)
(6) A. Hirata, Y. Takano, Y. Kamimura, and O. Fujiwara, “Effect of the averaging volume and algorithm on the in situ electric field for uniform electric- and magnetic-field exposures”, Phys. Med. Biol., Vol. 55, pp. N243-N252 (2010)

5.5.3 適合性評価方法

5.5.3.1 IEC TC106

電磁界の人体安全性評価のよりどころとして、前述の ICNIRP や IEEE など国際的な人体防護ガイドラインが広く認識されており、実際のばく露状況におけるガイドライン適合性を評価するために、人体ばく露に関連する物理量を定量的に評価することが必要となっている。このため、適合性評価手法の標準を定めるため、電気・電子技術分野の国際標準化の作業を担う IEC（International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議）において、「人体ばく露に関連する電界，磁界，電磁界の評価方法」についての専門委員会 TC106（TC：Technical Committee）が設置され、人体ばく露に関連する電磁界の評価方法標準化の作業が進められてきた。これまで、電磁界の人体ばく露評価に関連し、共通に用いられる手法を定めた水平規格、製品別の規格ならびに該当する製品別規格がない場合に適用される一般規格が作成されてきている。今回の対象の WPT については、該当する製品別規格が存在しないため、一般規格 IEC62311[1]を使って曝露評価を行うこととなる。図 5.3.1 は IEC62311 に従って WPT を EMF 評価する手順を示したものである。また、図 5.3.2 は使用位置での電磁界／接触電流の測定を細かく説明したものである。本報告書では ICNIRP ガイドラインで例示して解説する。

なお、IEC62311 の 7.2 項の(3)に製品独自の EMF 規定による評価が記載されているが、現在 WPT に関しては独自規定がないので、本報告書では割愛する。

（手順１）WPT の緒言と適用基準の選定と除外可能なレベルによる曝露評価是非の判断

EMF 評価に必要な WPT の緒言を規定する。WPT の電気的な特性だけでなく、WPT を使用する人の位置や適用する曝露規準を特定する。

特定する具体的な内容として、

・WPT の伝送電力と使用周波数
・測定位置：使用者の通常の使用位置
・適用する曝露基準の選定

などがある。

図 5.3.1　IEC62311 による EMF 評価手順

*1)曝露評価の対象周波数が 10GHz までの WPT を想定

ここで曝露評価の対象となる周波数範囲は WPT の使用周波数だけでなく、例えば、大電力機器の場合、商用周波数（50/60Hz）や電源のスイッチング周波数も含まれることも注意しなければならない。また、高周波電力の生成に矩形波などの高調波成分を多く含む波形を用いる場合、その高調波の周波数も対象と考える。

IEC62311 では測定位置は「使用者の通常の使用位置」とだけ記載され、具体的な測定位置は規定していない。一般環境で使用される WPT の場合、WPT の操作者以外の人が使用中に近接することも考えられるので、測定位置として操作パネルや電力伝送部周囲だけでなく、動作中に人が立ち入ることの可能なエリアを考慮しなければならない。

卓上または小型の WPT の場合、機器の表面の近接可能な面に測定器のセンサ部を密着させて測定する。これに対して、大型の WPT の場合、機器の周囲で人の立ち入る範囲において測定を行う。機器との近接距離や測定高さは表 5.3.1 に記載した IEC 規格の中から対象機器が被測定機器に類似した規格を参考に決定する。

表 5.5.3.1-1　測定位置の考え方

規格	対象/周波数	測定位置	備考
IEC62110	一様電磁界 / 50/60Hz	地上 1m	
	非一様電磁界 / 50/60Hz	設備/敷地/壁面から 0.2m 地上より 0.5m、1m、1.5m 装置高さ H<1.5m の場合 地上より H/3、2H/3、H	
	埋設された波源 / 50/60Hz	地上 0.2m 5 点の測定値から最大点を特定	
IEC62233	一様/非一様電磁界/0-400kHz	操作面：装置表面から 0cm その他：30cm	

IEC61980-1（CDV）	電気自動車	車外：車体より距離 20cm 地上より 0.5m、1m、1.5m 社内：座席の 3 点	
IEC62209	人体に近接して使用する携帯型の無線機のSAR/30MHz-6GHz	ファントム内部の SAR を直接測定	

微弱な電力機器／本質的適合の判断

詳細な曝露評価に先立って、使用周波数における除外可能な電力レベルを算出する（付録 D 参照）。

WPT の送信電力がこの除外可能な電力レベルよりも小さい場合、過熱影響に関する曝露規準を超える曝露を生じ得ないので、測定や詳細な評価を行わなくても加熱影響の規準に対する適合性を確認することが可能である。

また、機器表面で人体が接触する部分がすべて絶縁されているか、すべてアースされている場合、人体に機器から接触電流が流れないので、接触電流の評価を割愛することができる。

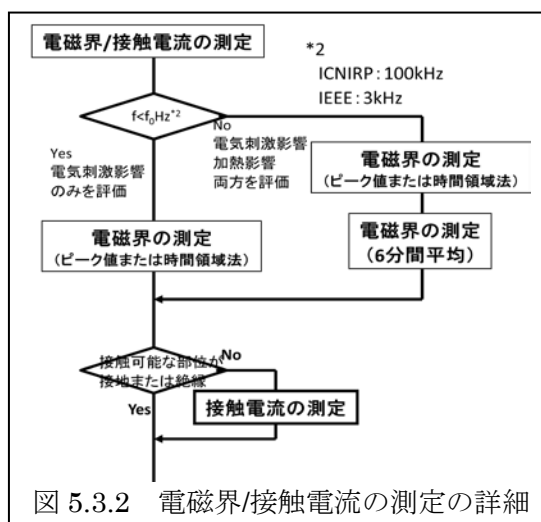



図 5.3.2 電磁界/接触電流の測定の詳細

（手順２）電磁界の測定と参考レベルによる適合性の判定

通常使用位置で電界／磁界／接触電流を測定する。曝露規準を ICNIRP ガイドラインとした場合、使用周波数が 100kHz を超えない場合、加熱影響を考慮しないので、電気刺激影響のみを考慮した測定のみを行う。これに対して、使用周波数が 100kHz を超える場合、電気刺激影響と加熱影響の両方を評価する。機器の表面に設置されていない金属部分が露出している場合や、電力伝送の際に伝送部の近傍に誘導を受ける金属が存在する場合、接触電流の評価が必要となる。

電気刺激影響の評価と適合性の判断

手順１で定めた測定位置において、電界および磁界を測定する。

(a)ICNIRP ガイドライン（1998 年版）の場合

$$\sum_{i=1Hz}^{1MHz} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1MHz}^{10MHz} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

（式 5.3.1）

および

$$\sum_{j=1Hz}^{65kHz} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65kHz}^{10MHz} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

（式 5.3.2）

ここで

E_i は周波数 i での電界強度、$E_{L,i}$ は周波数 i の電界強度の参考レベル、

H_j は周波数 j での磁界強度、$H_{L,j}$ は周波数 j の磁界強度の参考レベル、

磁界の測定を磁束密度 ***B*** で測定した場合、H_j の代わりに B_j（周波数 j の磁束密度）、$H_{L,j}$ の代わりに $B_{L,j}$（周波数 j の磁束密度の参考レベル）とする。

ａとｂの値は表 5.3.2 を参照のこと。

表 5.3.2　電気刺激影響の適合性評価のための定数

ICNIRP ガイドライン	曝露の条件	a [V/m]	b [A/m]([μT])	c [V/m]	d [A/m]([μT])
1998 年版	職業的曝露	610	24.4 (30.7)	610/f	1.6f
	公衆の曝露	87	5 (6.25)	87/f	0.73/f

表中のｆはMHｚで表した周波数ｉおよびｊ　()の中の値は磁束密度で測定した場合の値

(b)ICNIRP ガイドライン（2010 年版）の場合

$$\sum_{j=1Hz}^{10MHz} \frac{E_j}{E_{R,j}} \leq 1$$

（式 5.3.3）

および

$$\sum_{j=1Hz}^{10MHz} \frac{H_j}{H_{R,j}} \leq 1$$

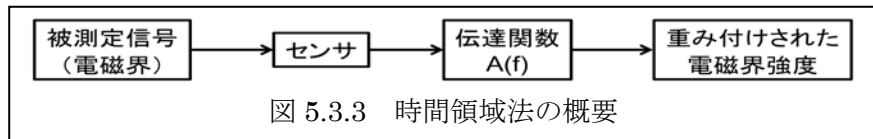
（式 5.3.4）

ここで

E_jは周波数ｊでの電界強度、$E_{R,j}$は周波数ｊの電界強度の参考レベル、

H_jは周波数ｊでの磁界強度、$H_{R,j}$は周波数ｊの磁界強度の参考レベル、

図 5.3.3　時間領域法の概要

IEC62311では複数のスペクトラムの加算の手間を省くため、時間領域法（Shaped Time Domain 法）を推奨している。

時間領域法はセンサによって測定した電磁界強度信号を式5.3.1から式5.3.4の分母の特性に相当する伝達関数を通すことにより､参考レベルで除した値の総和として評価することができる。電磁界強度は式 5.3.1 から 5.3.4 の左辺に相当する曝露規準に対する比率を表す値または百分率として得られる。

加熱影響の評価

手順１で定めた測定位置において、電界および磁界を測定する。曝露規準への適合性は式 5.3.5 と 5.3.6 による。なお、ICNIRP ガイドライン 2010 年版は低周波の電気刺激影響のみであるので､本項には ICNIRP ガイドライン 1998 年版での判断のみ記載する。

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left[\frac{E_i}{c}\right]^2 + \sum_{i>1MHz}^{300MHz} \left[\frac{E_i}{E_{L,i}}\right]^2 \leq 1$$

（式 5.3.5）

および

$$\sum_{j=100kHz}^{1MHz} \left[\frac{H_j}{d}\right]^2 + \sum_{j>1MHz}^{300MHz} \left[\frac{H_j}{H_{L,j}}\right]^2 \leq 1$$

（式 5.3.6）

ここで

E_iは周波数 i での電界強度、$E_{L,i}$は周波数 i の電界強度の参考レベル、
H_jは周波数 j での磁界強度、$H_{L,j}$は周波数 j の磁界強度の参考レベル、
c と d の値は表 5.3.2 を参照のこと。

接触電流の評価

接触電流を付録 C に従い測定する。なお、IEC62311 では Annex D にアースされた実際の人体、または人体と等価な回路を機器の金属部分に接触させ、流れる電流を Clamp-On 型の電流計で測定することによって、接触電流の測定方法が例示されているが、現状等価な人体モデルが標準化されていないので、この方法を用いることは現状適当でない。

次式 5.3.7 による曝露規準への適合性を確認する。

$$\sum_{n=1Hz}^{110MHz} \frac{I_n}{I_{C,n}} \le 1 \quad \text{（式 5.3.7）}$$

ここで、I_nは周波数 n における接触電流、$I_{C,n}$は周波数 n における接触電流の参考レベルである。

（手順３）基本制限を考慮した詳細な評価

現状、基本制限を考慮して曝露評価を行う方法として標準化されている一般的な方法は、SAR の評価方法である（付録 D 参照）。電磁界解析等の計算手法を用いて、誘導電流／体内誘導電界を求める手法もあり、標準化が進められており、早期の標準化成立が望まれる。

測定における不確かさの取り扱い

人体曝露評価における測定に対して、測定不確かさが 30%を超えないことが要求されている。人体曝露専用の測定設備は概ね 30%を超えないが、EMI の測定器を用いて電磁界強度を測定する場合、測定系の測定不確かさが 30%を超えることが予想される。IEC62311/62479 に測定不確かさが 30%を超えた場合の測定値の取り扱いについて規定されている。

測定不確かさが 30%を超える場合は下記の式 5.3.8 を用いて制限値 L_{lim}に重み付けを行い、測定によって得られた値 L_mがその重み付けられた値以下でなければならないことを要求している。

$$L_m \le \left(\frac{1}{0.7 + \frac{U(L_m)}{L_m}} \right) L_{\lim} \quad \text{（式 5.3.8）}$$

ここで $U(L_m)$は絶対不確かさを表している。

例えば、相対測定不確かさが 55%であれば、

$$\frac{U(L_m)}{L_m} = 0.55$$ となり、 $$L_m \le \left(\frac{1}{0.7 + 0.55} \right) L_{\lim} = 0.8 L_{\lim} \quad \text{（式 5.3.9）}$$

となる。

参考文献

(1) IEC: “Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”, IEC 62311 (2007-08)

5.5.3.2 IEEE/ICES/SCC95、SCC34

5.6 今後の課題

・体内植え込み医療機器への影響についても、適切に評価・防護することが必要
・金属を身につけている場合や体内に金属を埋め込んでいる場合の影響についても、適切に評価・防護することが必要
・国際規格（関連する規制値や指針値）との整合性確保が必要
・研究の進捗や新たな国際標準の策定等への対応（新たな評価方法への対応）
・将来的な評価モデルの検証が必要

付録A　電界強度測定方法

Ａ．１　測定装置の要件
Ａ．２　測定手順の要件

付録B　磁界強度測定方法

B. 1　磁界測定原理

主として数 100 kHz 以下の低周波数領域における磁界測定に用いられるセンサ方式として，誘導コイル方式，ホール素子，フラックスゲート式，磁気抵抗素子，磁気発振方式，量子干渉素子を用いるもの（SQUID）などがある。このうち環境磁界の測定では，誘導コイル方式が多く用いられる。特に携帯型の磁界測定器については回路が簡素で小型化できることから，誘導コイル方式が多く用いられている。誘導コイル方式による磁界測定原理は，電磁誘導作用により誘導コイル（サーチコイル）に鎖交する磁束の大きさの時間変化分に対応した誘起電圧を測定するもので，以下のような関係式がある。

$$V = -j\omega NBS \qquad (3\cdot1)$$

ここに，V:誘導電圧，ω:角周波数（=2πf），N:コイルの巻数，B:磁束密度（コイル面に垂直な成分），S:コイルの面積，である。測定に十分な感度を得るために，面積や巻数を増やす，あるいは強磁性材料をコイル心に用いて磁束密度 B の大きさを増加させるなどの方策が取られている。また，出力が周波数に比例するため，後段の積分器を用いて平坦な周波数特性となるように信号処理がなされる。

磁界測定器として，センサ部が1軸のものと，3個のセンサが互いに直交方向に配置された3軸のものがあるが，後述の IEC による国際規格（IEC61786-1[1]）ならびに JIS 規格[2]では，（3・2）式で定義される3軸合成磁界 B_R を，磁界の大きさの指標として用いることを規定しており，3軸の磁界測定器を用いることが想定されている。

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \qquad (3\cdot2)$$

ここに，Bx, By, Bz は直交3軸各軸の磁束密度の実効値である。3軸の磁界測定器では，測定器の向きによらず同一の値 B_R が表示されるという利点がある。一方，センサ部が1軸の測定器も以前より用いられており，波形出力機能を有する測定器があり，磁界の周波数成分や，到来方向を知るための用途に使用される場面がある。

B. 2 ガイドライン適合性評価に関わる磁界測定方法

人体防護ガイドラインとの適合性評価を念頭に置いた，低周波磁界の標準評価法については，国際機関 IEC に専門委員会(TC106:「人体ばく露に関する電界，磁界，及び電磁界の評価方法」)が 1999 年に設置され，一元的に関連国際規格の作成作業が行われている。

1998 年に制定された規格「人体ばく露に関する低周波磁界及び電界の測定－測定器の特別要求事項及び測定の手引き(IEC61786)[3]」では，電磁界の基本事項，測定手順や測定器の要求仕様を示している。現在改定作業が進められており，電磁界測定器に関する基本事項と，測定手順のガイダンスについて，分冊発行することが決定している（すでに，基本事項を規定したパート1が，2013 年 12 月に発行されている[1]）。なお本規格[3]は，2004 年に JIS 化され，JIS C 1910[2]として発行されている。このほか，家電の磁界測定法 IEC62233[4]，ならびに電磁界評価法の共通規格 IEC62311[5]においても，ガイドライン適合性評価を念頭においた磁界測定方法が規定されており，これについては，5章に詳述されている。

[1] IEC 61786-1 Ed. 1.0: “Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to
100 kHz with regard to exposure of human beings - Part 1: Requirements for measuring instruments” (2013)
[2] JIS C 1910 :「人体ばく露を考慮した低周波磁界及び電界の測定」(2004)
[3] IEC 61786 Ed. 1.0: “Measurement of Low-Frequency Magnetic and Electric Fields with Regard to Exposure of Human Beings – Special Requirements for Instruments and Guidance

for Measurements” (1998)
[4] IEC 62233 Ed. 1.0: “Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure”, (2005)
[5] IEC 62311 Ed. 1.0: “Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”, (2007)

付録C　接触電流測定方法

C. 1　測定装置の要件

(1)　人体等価インピーダンス回路

対象となる無線局、高周波利用設備に応じて適切な周波数特性をもつ人体等価インピーダンス回路を用いる。成人男性の握り接触時の人体インピーダンスの平均的な特性例を表 C1 及び図 C1 に示す。また、それを近似的に実現した IEC 60990 の等価回路を図 C2 に示す。ただし、周波数 100 kHz 以上で電流を 100 mA 流した場合、抵抗 R_B = 500 Ωでの消費電力は 5 W に達することに注意する。

等価回路のインピーダンスが人体インピーダンスよりも低い場合は接触電流の測定値が過大評価となるため安全側にあるが、高い場合は過小評価となっていることに注意する。

表 C1　成人男性（握り接触）のインピーダンスの周波数特性

Frequency	50 Hz	60 Hz	100 Hz	300 Hz	1 kHz	3 kHz	10 kHz
Impedance	5,400 Ω	5,000 Ω	3,920 Ω	2,270 Ω	1,255 Ω	856 Ω	670 Ω
Frequency	30 kHz	100 kHz	300 kHz	1 MHz	3 MHz	10 MHz	30 MHz
Impedance	589 Ω	532 Ω	500 Ω	470 Ω	460 Ω	460 Ω	460 Ω

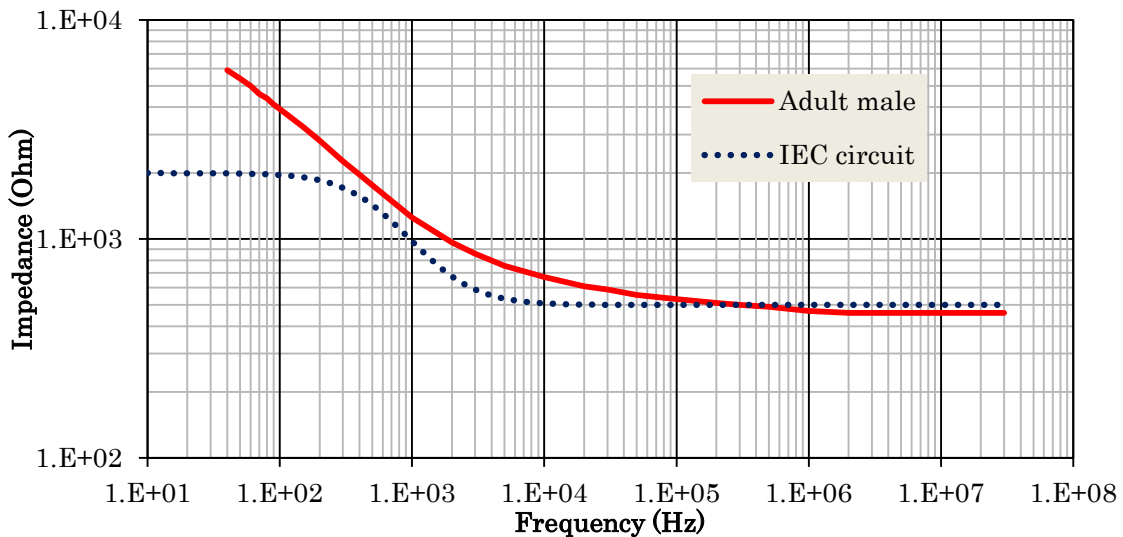



図 C1　成人男性と IEC 等価回路のインピーダンスの周波数特性

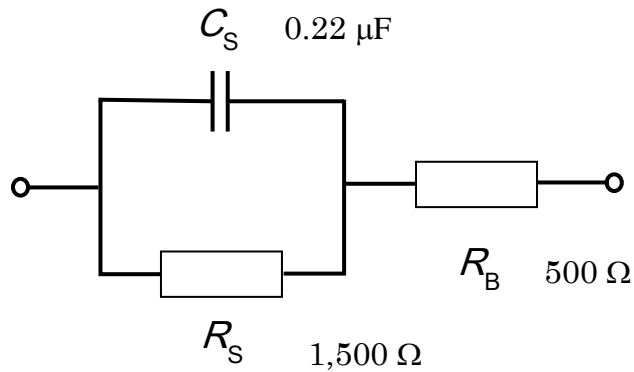



図 C2　IEC 等価回路

(2)　電極

接触電極は金属性の接触端子を用いる。対象の接触部分が塗装されているような場合には 10 cm×20 cm の金属箔を貼りつけて手のひらによる接触を模擬する。接地電極は足裏に相当する面積(30 cm×30 cm)の金属板を用いる。靴の着用を模擬する場合は接地電極の下に適当な厚さの絶縁シートを敷く。

(3)　電流計または電圧計

対象となる無線局、高周波利用設備に応じて適切な周波数帯域をもつ電流計または電圧計を用いる。電流計はクランプ式でもよい。電圧計を用いる場合は等価回路に直列接続された 10 Ω 程度の抵抗両端の電圧より電流値に換算して求める。電流計または電圧計の測定平均化時間は 1 秒以内とし、波形振幅が時間的に変動する場合はピークホールド値を求める。

接触電流測定装置の構成例を図 C3 に示す。

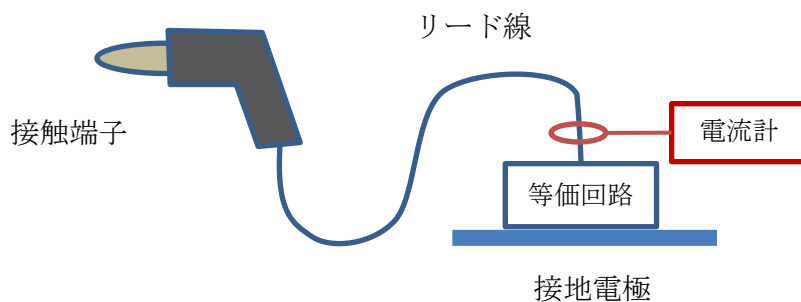



図 C3　接触電流測定装置の構成例

C. 2　測定手順

(1)　単一周波数とみなせるかどうかを事前調査・判定する。

単一周波数とみなせる場合、周波数に応じた人体等価インピーダンス回路を介して電流を測定する。複数周波数波源の場合は電波防護指針(諮問第 38 号)の参考資料３に準拠して対象周波数ごとに測定する。

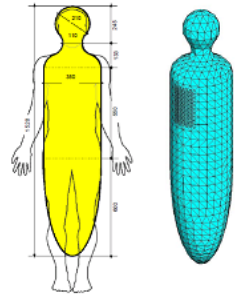
(2)　予想される接触状況を模擬して測定する。

　人が立つと想定される位置に接地電極を置く。人が接触すると想定される部分に接触端子を触れる。指示値が安定したときの値を求める。

接地電極と人体等価インピーダンス回路、リード線、接触端子、対象となる金属および大地により形成されるループ面積が実際に人が接触する状況と同程度になるように留意する。

付録D　SAR，電流密度評価方法

　基本制限に従った曝露評価方法として、体内誘導電流（ICNIRP ガイドライン 2010 年版および IEEE95.1 は誘導電界）の評価とSAR の評価がある。どちらも人体内部に発生する電磁界を元に評価するため、ファントム（擬似人体）による実測、または数値モデルを用いた電磁界計算により評価することとなる。

　体内誘導電流密度を求める方法は IEC62311 の Annex C に解説されている。また、SAR の評価については、IEC62479 に評価手順、IEC62209-1/-2 に測定による手順が規定されている。本付録ではこれら計算手法と IEC62233 で用いられている結合係数の算出手順、SAR の曝露評価手順について述べる。

D．１　体内誘導電流密度の評価方法

D.1.1　体内誘導電流密度の計算方法

　体内誘導電流密度は数値計算による評価方法が一般的である。
表 D.1.1 に IEC62311 Annex C に例示された人体モデル/波源モデルを、表 D.1.2 に曝露計算に用いられる計算手法をまとめた。

表 D.1.1　数値計算のための人体モデルと計算手法

分類	モデル/作成プロジェクト名	備考
解剖学的モデル（詳細モデル）	The Visible Human Project	米国国立医学図書館
	MEET Man	ドイツ　カールスルーエ大学
	Hugo	スイス　Viewtec 社
	Norman	英国放射線防護局
	University Of Utah	ユタ大学
	University of Victoria	カナダ　ビクトリア大学
	Brooks Air force Base	米国　ブルークス空軍基地
	Average Japanese male and female human models	日本　情報通信研究機構
	Korean human model	韓国　電子通信研究院
簡易モデル	Spheroids（球状体モデル）	モデルサイズ 体幹部：600×300mm 頭部：300×200mm
	Cuboids（直方体モデル）	モデルサイズ 0.4×0.4×1.8m（x×y×z）
	Homogeneous human body model（均一人体モデル）	
波源モデル	Straight Wire	単純な曝露問題に適用
	Circular/Rectangular coil	

	Equivalent source model 装置周囲の磁束密度を測定し、装置表面に並べた複数の等価な磁気ダイポールの組み合わせに変換したモデル	詳細な曝露計算や非一様な場の曝露計算に適用

表 D.1.2 計算手法

計算手法	和名	備考
BEM(Boundary Element Method)	境界要素法	
FDFD(Finite Difference Frequency Domain)	有限差分周波数領域法	
FDTD(Finite Difference Time Domain)	有限差分時間領域法	
FEM(Finite Element Method)	有限要素法	
FIT(Finite Integration Technique)	有限積分法	
MoM(Method of Moments)	モーメント法	
SPFD(Scalar Potential Finite difference)	スカラーポテンシャル有限差分法	
IP(Impedance Method)	インピーダンス法	

これらのモデルと計算手法を組み合わせて、人体への誘導電流密度を計算する。

D.1.2 体内誘導電流計算の例

D.1.3　結合係数の算出

曝露規準における参考レベルは一様な電磁界への曝露を想定して算出されている。波源の極近傍では電磁界は一様ではなく、ある一点における電磁界強度で判定を行うと過大な評価となってしまう。電磁界の非一様性を考慮するため、結合係数 *k* が用いられる。図 D.1 に IEC62226-1 による結合係数 *k* を用いて EMF 評価を行う手法の概要を示す。

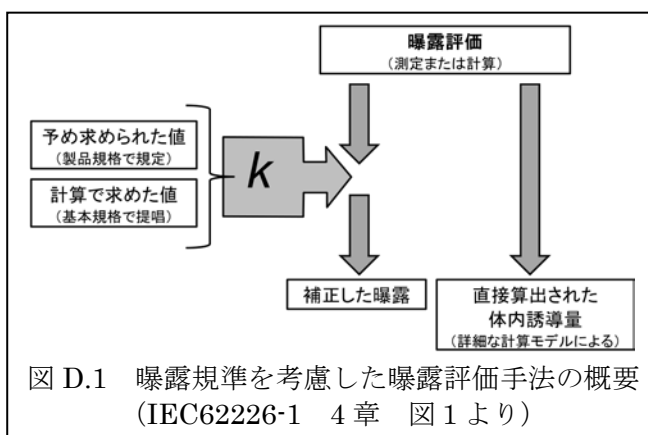
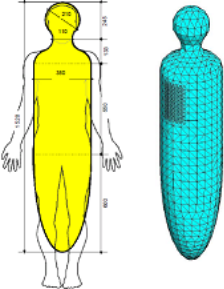



図 D.1　曝露規準を考慮した曝露評価手法の概要
(IEC62226-1　4 章　図 1 より)

測定や計算により得られた曝露評価結果から直接体内誘導量を算出し、曝露規準への適合性を確認する。これに対して、製品/製品群規格に結合係数 *k* が予め算出されているか、IEC62311 などの基本規格で規定された算出方法に従い結合係数 k を求めることが可能な場合、この結合係数 *k* により曝露評価結果を補正した値をもって適合性を確認してもよい。

表 D.1.3 に示すとおり、IEC62226 における結合係数 *k* の定義は一様電磁界に曝露した場合に生じる誘導電流や磁界に対する非一様電磁界に曝露した場合の誘導電流や磁界の比を示している。

表 D.1.3　国際規格における結合係数 *k* の定義

規格	IEC62226	IEC62311/62233
結合係数 *k* の定義	（定義1） 人体モデル内最大磁界が一様な場合の最大誘導電流に対する非一様磁界による最大誘導電流	人体モデル: 均一人体モデル

	の比 $$k=\frac{J_{\max_non-uniform}}{J_{\max_uniform}}$$ $J_{max_non-uniform}$： 非一様電磁界により生じる最大の誘導電流 $J_{max_uniform}$： 一様電磁界により生じる最大の誘導電流	 センサの大きさ: 100cm^2 の標準ループアンテナ
	（定義2） 人体モデル内に同一の大きさの誘導電流密度の最大値を生じさせる一様／非一様外部磁界の比 $$k=\frac{B_{\max_non-uniform}}{B_{\max_uniform}}$$ $B_{max_non-uniform}$： 非一様電磁界により生じる最大の磁界 $B_{max_uniform}$： 一様電磁界により生じる最大の磁界	（定義） $$a_c=\frac{\left[\frac{J_{\max}}{B_{\max_Sensor}}\right]}{\left[\frac{J_{BR}}{B_{RL}}\right]}$$ J_{max}： 人体モデルに生じる最大の誘導電流 B_{max_Sensor}： センサに生じる磁界の最大値 J_{BR}： 誘導電流に対する基本制限 B_{RL}： 磁界の参考レベル

これに対して、IEC62311 や IEC62233 では、特定の人体モデルとセンサの組み合わせを規定して結合係数 a_c を求めている。この結合係数 a_c を測定した磁界や磁束密度に乗じることにより非一様性の影響を考慮することを許容している。
実際に IEC62311/62233 を用いて、結合係数を算出する手順は下記のとおりである。

結合係数算出の手順
（手順１）ばく露距離を規定する。ばく露距離は発生源とループアンテナの先端までの距離とする。

		アンテナ半径 [cm]					
		1	2	3	5	7	10
曝露距離 [cm]	1	21.354	15.326	8.929	5.060	3.760	3.523
	5	4.172	3.937	3.696	3.180	2.858	2.546
	10	2.791	2.735	2.696	2.660	2.534	2.411
	20	2.456	2.374	2.369	2.404	2.398	2.488
	30	**2.801**	**2.735**	**2.714**	**2.778**	**2.687**	**2.744**
	40	3.070	2.969	2.933	3.042	2.865	2.916
	50	**3.271**	**3.137**	**3.086**	**3.251**	**2.989**	**3.040**
	60	3.437	3.271	3.206	3.429	3.079	3.134
	70	3.588	3.388	3.311	3.595	3.156	3.216
	100	3.940	3.659	3.601	4.022	3.570	3.604

発生源の正確な位置が特定できない場合は装置の表面からループアンテナまでの距離とする。
（手順２）ループアンテナの半径を特定する。
（手順３）磁界に対する最大の誘導電流の比を表す係数 *k*、*k'* を求める。係数 *k* は人体の導電率 σ を 0.1 とし、周波数 50Hz で正規化したものである。IEC62311 および IEC62233 ではループアンテナの半径と波源との距離から既に係数 k を求められており、係数 *k* は表 D.1.4 の値から補間して求めることができる。

表 D.1.4　周波数 50Hz で正規化された結合係数 *k*
注：表 D.1.4 は IEC62311 Annex C および IEC62233 Annex C から抜粋したものである。

この係数 *k* から周波数 f[Hz]と導電率 σ [S/m]を補正した係数 *k'* を(式付 2.1)を用いて算出する。

$$k' = \frac{f}{50} \cdot \frac{\sigma}{0.1} \cdot k$$ （式 D.1.1）

（手順4）対象とする周波数における誘導電流の基本制限 J_{BR}[mA/m^2]と磁界強度の参照レベル B_{RL}[μT]を用いて、結合係数 a_c を求める。

$$a_c = k' \cdot \frac{B_{RL}}{J_{BR}}$$ （式 D.1.2）

なお、ICNIRP ガイドラインの 2010 年版を用いる場合、係数 *k'* の算出において、σ =0.2[S/m]としなければならない。

代表的な結合係数の例
表 D.1.5 に IEC62233 Annex C に示される代表的な結合係数 a_c の例を示す。

表 D.1.5 代表的な結合係数 a_c の例

装置の大きさ	測定距離[cm]	結合係数：ac
Small	0	1.00
Large	0	0.15
Small	10	0.14
Large	10	0.16
Small	30	0.14
Large	30	0.18

注：Small とは、発生源が装置の表面すぐの位置に存在するような場合
Large とは、発生源が装置表面から 10～40cm 程度の距離があるような場合

Ｄ．２　ＳＡＲの評価方法

100kHz-10GHz の加熱影響に対して、SAR の基本制限が設けられている。表 D.2.1 に SAR 評価に関係する国際規格を示す。

表 D.2.1 SAR 評価に関係する IEC 規格

規格番号	題名（和文略称）	主な内容
IEC62311	汎用製品規格	EMF 評価手順 EMF 評価で用いる評価方法 測定不確かさの取り扱い 数値計算モデル 体内誘導電界からの算出方法
IEC62479	小電力電気・電子機器の汎用製品規格	除外可能な電力レベルの算出方法 小電力機器の判定手順
IEC62209-1	側頭部で使用される携帯無線端末に対する局所 SAR 測定方法	測定装置の規定 (1)人体ファントムと溶剤 (2)電界プローブと走査機構 測定手順 (1)校正方法 (2)スキャン手順 (3)SAR 評価法
IEC62209-2	側頭部以外で使用される携帯無線端末に 対する局所 SAR 測定方法	

Ｄ．２．１　除外可能な電力の算出

曝露規準の基本制限より､基本制限を越える曝露を生じるために最低限機器が必要な電力 P_{max} を算出することができる。

SAR において、局所 SAR の基本制限を SAR_{max}、平均質量を m とすると、P_{max} は

$$P_{\max} = SAR_{\max} \times m \qquad \text{（式 D.2.1）}$$

となる。

この P_{max} を「除外可能な電力レベル」または「微弱電力除外レベル」と呼ぶ。表 D.2.2 に代表的な曝露規準とその SAR に関する基準値を列挙した。この規準値を元に算出される局所 SAR に関する除外可能な電力レベルを表 D.2.3 に示す。

表 D.2.2　SAR に関する曝露規準　単位は[W/kg]

曝露規準	曝露環境	周波数	全身平均 SAR	局所 SAR*1（頭部／体幹）	局所 SAR*1（四肢）
電波防護指針（局所吸収指針）	管理環境	100kHz -6GHz	0.4	10	20
	一般環境		0.08	2	4
ICNIRP ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ（1998 年版）	職業的曝露	100kHz -10GHz	0.4	10	20
	公衆の曝		0.08	2	4

	露				
IEEE95.1（1999 年版）	管理環境	100kHz -6GHz	0.4	4	20
	非管理環境		0.08	1.6	4
IEEE95.1（2005 年版）	管理環境	100kHz -3GHz	0.4	10	20
	Action Level		0.08	2	4

*1)IEEE95.1(1998 年版)の非管理環境における頭部／体幹の値のみ 1g 平均で、他の値は 10g 平均における値である。

表 D.2.3　局所 SAR に関する除外可能な電力レベル

SAR の曝露規準(基本制限)		除外可能な電力レベル [mW]	備考
基準値 [W/kg]	平均する組織の質量 [g]		
1.6	1	1.6	IEEE95.1(1999 年版) 頭部/体幹
2	10	20	ICNIRP/電波防護指針 /IEEE(2005 年版) 頭部/体幹
4		40	
10		100	職業曝露における頭部/体幹
20		200	職業曝露における四肢

Ｄ．２．２　除外可能な電力を用いた評価方法

機器から意図的／非意図的に放射する電磁界の電力は機器の消費電力を超えることはない。機器の消費電力が、除外可能な電力レベル P_{max} を超えないのであれば、機器から発せられる電磁波の電力は曝露規準を超えないことは明白であり、詳細な測定や計算を行わずに、曝露規準への適合性を確認することができる。機器や回路の消費電力を規準に下記のように機器を分類する。

(1) 機器の消費電力が P_{max} を超えない機器
(2) 機器の高周波電力を生成している回路の消費電力（入力電力）が P_{max} を超えない機器
(3) 意図的放射機器の空中線（アンテナ）や WPT の電力伝送部に印加される電力が P_{max} を越えない機器
(4) 実測により、機器から放射する総電力が P_{max} を超えない機器

これら(1)から(4)の機器を小電力機器と呼び、これらの機器は SAR の測定を行うことなく、曝露規準を満足しているとみなすことができる。

一般に無線回路を搭載していない電気電子機器は EMI（Electromagnetic Interference：電磁雑音）が規制されているため、外部に漏洩する電磁界が非常に微弱に抑えられている。EMI の測定結果から放射電力を逆算することも可能であるが、「遠方界の測定結果である」、「人体との結合を考慮していない」「評価されている周波数範囲が 30MHz から 1GHz（または 6GHz）であり、100Hz から 30MHz の放射電磁界を評価していない」といった理由から、EMI

の結果から曝露評価を評価することは認められていない。
　このため、無線回路を搭載していない機器に対して、「生来曝露規準を超える能力を有しない」という意味を表す「inherently Compliant」として、詳細な曝露評価を課さない評価方法も用意されている。

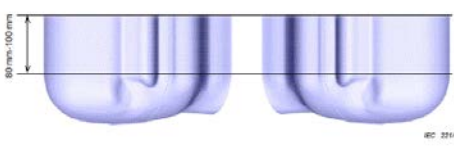
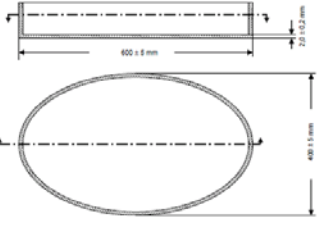
Ｄ．２．３　測定によるＳＡＲの評価方法

　測定による SAR 評価は波源の周波数と人体との距離によって、評価方法が異なる。主な評価方法を表 D.2.4 にまとめた。

表 D.2.4　測定による SAR 評価方法

周波数帯域	人体との距離		備考
	20cm 以下	20cm を超える	
10k-100kHz	電磁界強度を測定し、 基礎指針により判定	電磁界強度の測定 電磁界強度指針により判定	電波防護指針のみ
100k-30MHz	基本制限を評価する評価法は標準化されていない。 電磁界強度を測定して、参考レベルとの比較により判定		
30MHz-6GHz	IEC62209-1/-2 基本制限により判定	電磁界強度の測定 参考レベルにより判定	
6GHz-10GHz	基本制限を評価する評価法は標準化されていない。 電磁界強度を測定して、参考レベルとの比較により判定		

　測定によりＳＡＲを評価する代表的な方法はIEC62209-1とIEC62209-2で規定される人体ファントムを使用した方法である。IEC62209-1 は携帯電話等の側頭部で使用する機器を対象としており、IEC62209-2 は体幹部や四肢などの側頭部以外の部位に近接して使用される機器を対象とした測定方法である。

表 D.2.5　SAR 測定用ファントム

	IEC62209-1	IEC62209-2
ファントム形状		
対象	携帯電話	側頭部以外で使用する携帯型無線機

　電界プローブにより、ファントム内に生じた電界を測定する。電界を E[V/m]、細胞の電気伝導率を σ [S/m]、比重を ρ [Kg/m^3]とすると、SAR の実効値は

$$SAR = \sigma E^2 / \rho \qquad \text{（式 D.2.1）}$$

　となる。
　ファントム内をスキャンして、式 D.2.1 の SAR が最大となるポイントの周囲の組織 10g（または 1g）に相当する体積の SAR を平均することにより、SAR を求めている。

Ｄ．２．５　計算によるＳＡＲ評価方法

現在、人体の数値モデルを用いたSAR計算に関する研究が数多く行われており、評価方法の標準化も始まった。

表D.2.5　数値計算によるSAR評価方法

IECのPT番号	内容		備考
	対象	計算アルゴリズム	
62704-1	プログラムに対する要求事項	FDTD（有限差分時間領域法）	
62704-2	車載機器	FDTD	
62704-3	携帯電話	FDTD	
62704-4	車載機器	FEM（有限要素法）	

WPTにはファントムに押し付けて動作されることが困難な機器も多いと考えられるので、計算による評価方法が早期に確立することが望まれる。

Ｄ．２．６　ＷＰＴシステムの誘導電流密度、ＳＡＲの評価例

1.電気自動車用ＷＰＴ

自動車の電磁誘導型無線電力伝送システムで用いられる非接触給電コイル単体の解析モデルの一例とし，コイル単体の構成をソレノイドコイル，受信（車両）側，送信（地面）側ともに同一とする．また，コイルのコアサイズ（比透磁率 μ_r は1800）は横400mm×縦400mm×厚さ10mm，巻き数は10回とした．伝送周波数は85kHz，伝送電力は7kWとする．

車両モデルの外観を図1に示す．車両は全長4500mm×幅1700mmとし，床面および車体部が完全導体であるのに対して，車体後部のバンパー部は比誘電率および損失性の小さい誘電体であるため導電率を設定していない．また，考慮する伝送システムの搭載位置は図1のように，車両前方，中央，後方の3通りとした．中央配置は車体の中央に配置し，後方配置，前方配置とはそれぞれ1500mmの間隔とした．また，自動車を駐車する場合，必ず送受コイルが正対するとは考えにくく，また，コイルが正対していない場合には，正対している場合よりも漏洩磁界が大きくなることが報告されている[1]．そのため，コイル間に，許容ずれ範囲内で漏洩磁界が最も大きくなるような位置ずれが生じている場合を考える．送信側1次コイルが受信（車両）側2次コイルに対し，横方向へ20cm，前後方向へ10cmずれている．

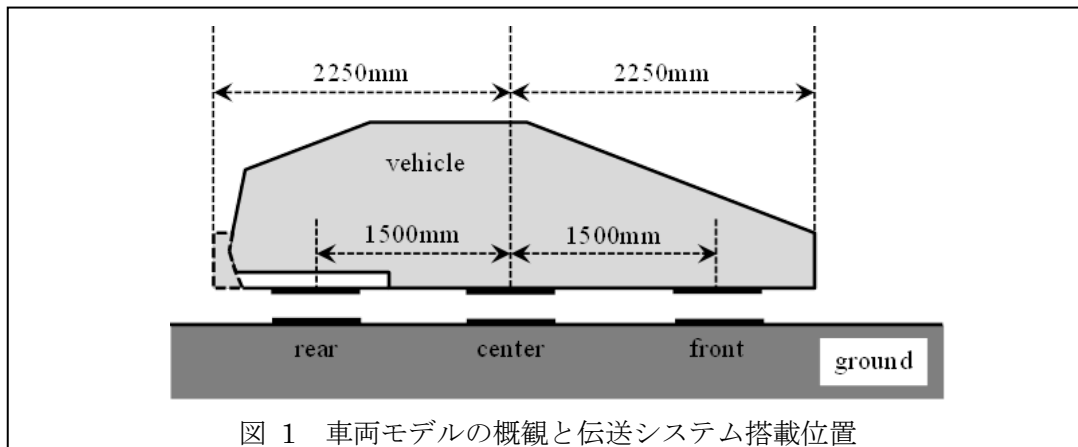



図１　車両モデルの概観と伝送システム搭載位置

体内誘導量を評価するのに先立ち，外部磁界分布の解析値と測定値の比較を行った．但し，測定値は，[1]により報告されたものであり，図1のような車両の形状を考慮したものでは

なく，解析では車両後方を考えた．比較の結果を図 2 に示す．図より，測定値と解析値の傾向はよく一致していることが確認できる[2]．

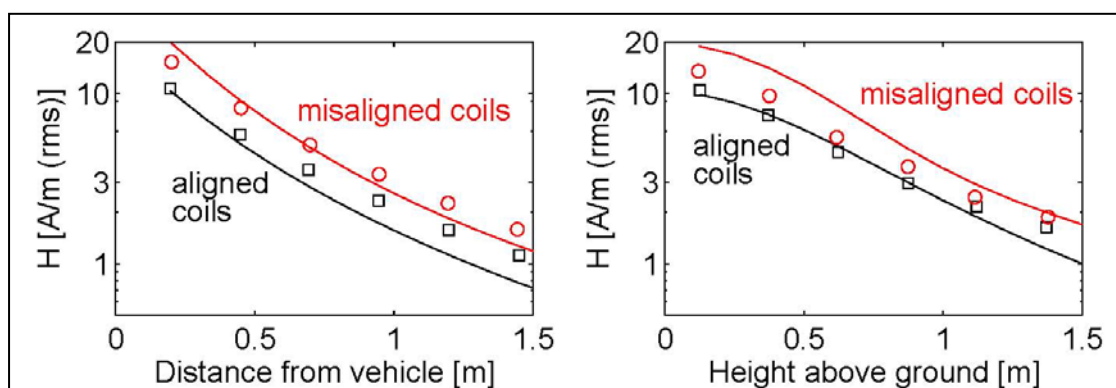



図 2　磁界強度の測定値と解析値の比較

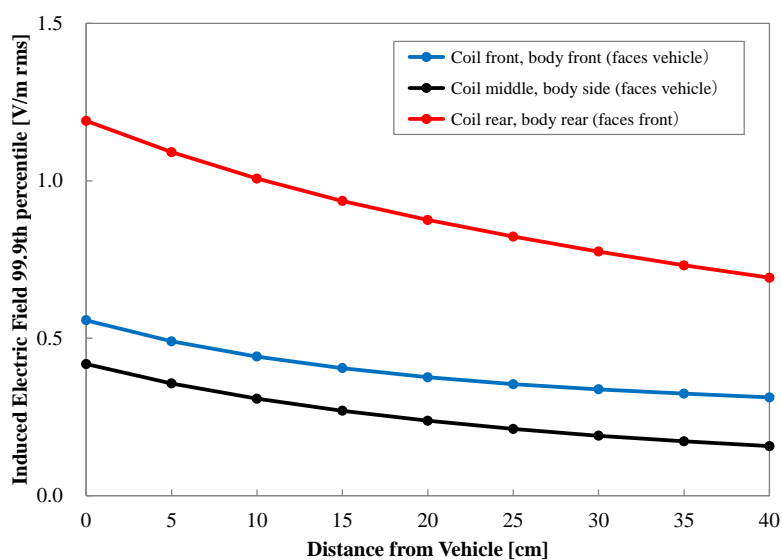



図 3　車両近傍における誘導電界最大値．配置の定義は図 1 参照

図 3 に，伝送システムを車両前方，中央，後方に搭載した場合に体内誘導電界が最も大きくなる基準位置を定め，その点からの距離特性を示す．なお，人体部位の先端（つま先）から車両までの間隔を距離と定義した．図 3 における横軸は車両からの距離であり，縦軸は人体に誘導される電界の最大値である．図より，人体への誘導電界は，伝送システムが車両中央にある場合が最も小さくなることが確認できる．これは，車両中央における人体とコイルとの距離が，前方や後方と比べて長く，人体にばく露する磁界強度がより小さくなるためであると考える．また，いずれの条件についても，基本制限を十分下回った．また，車両後方にコイルを設置した場合に体内誘導電界が大きくなっているが，これは地面までの間隔が 30cm と他の配置の場合 20cm に比べて大きく設定したことを一因とし，漏れ磁界が大きくなっていると考える．そこで，車両後方に焦点を当て，議論する．

図 4 に，車両後方付近の位置で，人体位置に対してモデルが最も近接する状態（つま先など一部は車両の下に入る状態）での体内誘導電界を解析した結果を示す[3]。評価には、日本人成人男性モデル TARO に加え、欧州人男性モデル NORMAN、子供モデル Thelonious を考えた。図

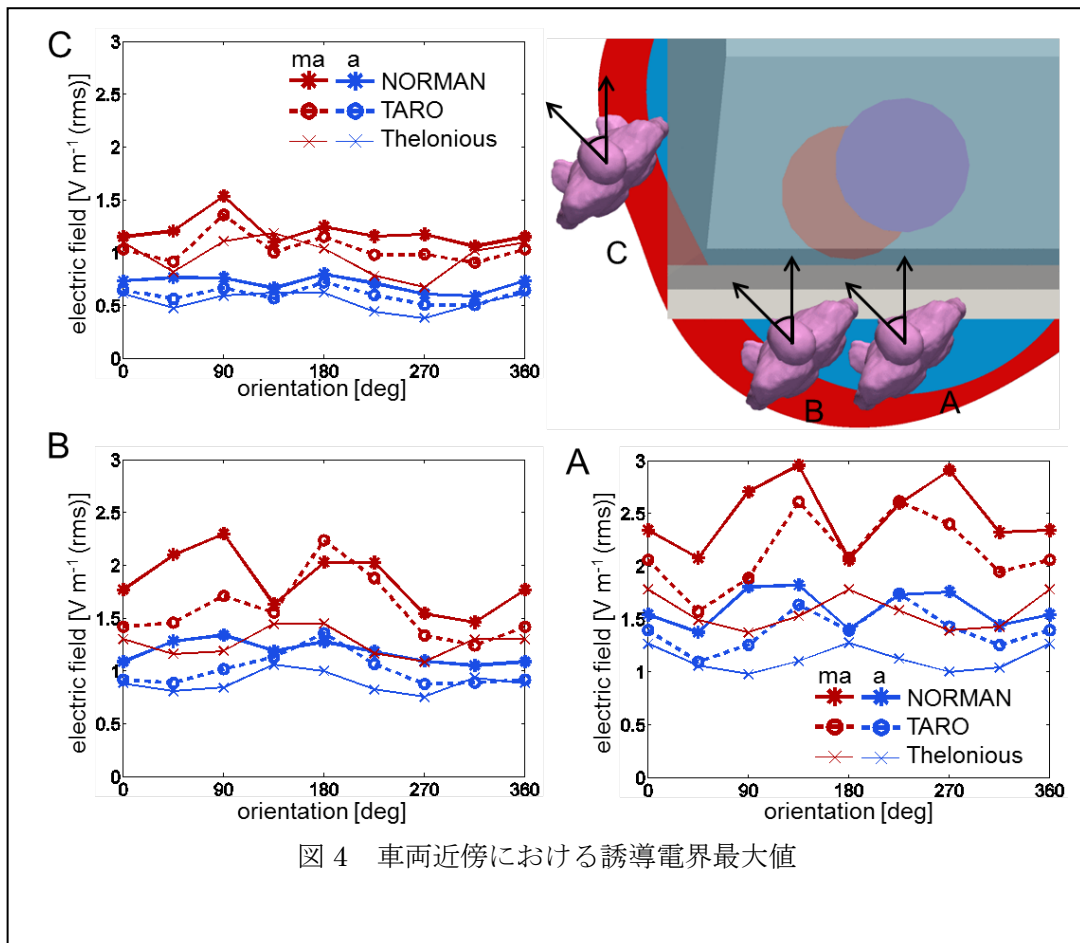



図 4　車両近傍における誘導電界最大値

4 より、いずれの場合においても基本制限を下回ること、また、成人モデルに比べて子供モデルの誘導電界は小さくなることが確認できる。なお，上記シナリオにおいてカップリングファクターを算出した場合，0.075 であった.

2.家電機器用ＷＰＴ①（6765-6795kHz）

MHz 帯磁気結合コイル近傍に数値人体モデルを配置した場合の体内誘導電磁界を解析し，特に局所 SAR のばらつきについて検討する[4]．コイルに対して人体モデルを水平方向に動かす場合，人体モデルに対してコイルを垂直方向に動かす場合のばく露条件をそれぞれ図 5(a)，(b)に示す．2 つのコイルは水平方向に同一の高さで配置され，さらに人体モデルはコイル前方に配置することとした．ここで，人体モデルはコイルの伝送方向とモデルの身長方向が垂直となるように配置することとした．モデルを水平方向に動かす場合には図 5(a)に示す A から I の 9 箇所に日本人成人男性モデルを配置し，コイルを垂直方向に動かす場合には図 5(b)に示す A から H の 8 箇所にコイルを配置し解析を行う．なお，コイルと人体モデルまでの距離を 50mm とし，コイルからの送信電力は 1W とした．SPFD 法におけるセルサイズは数値人体モデルの解像度と合致するように 2mm とした．

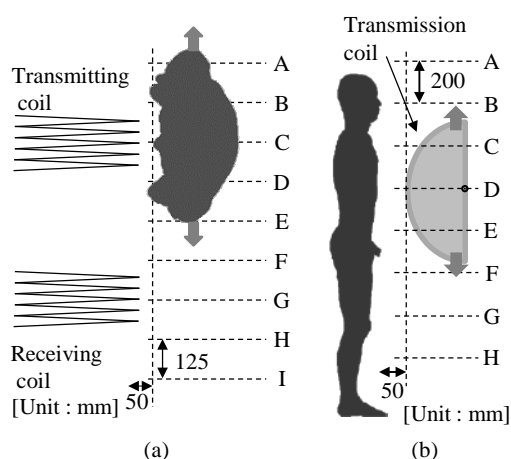



図 5 (a)数値人体モデルを水平に移動させる場合(b)コイルを垂直方向に移動させる場合の相対位置関係

図 6(a)に日本人成人男性モデルを水平方向に移動させた場合の，図 6(b)にコイルを垂直方向に移動させた場合の 10g 平均 SAR のピーク値の計算結果を示す．図 6(a)より，送受信コイル正面 C および G 付近の局所ピーク SAR は，他の位置に比べ大きいことがわかる．これは，コイルを構成する導線付近において磁界が大きいため，それに伴い SAR が大きくなったと考える．また，図 6(b)より，胸部正面 D 付近の局所 SAR が最も大きいことが確認できる．なお，奇モードの局所 SAR は胸部正面 D から E にかけてほぼ同じ値であることを確認している．これは，各位置において，磁束がモデルを通過する断面積の大きさが異なるため，磁束に対して実効的な断面積が大きい D 付近で SAR が最大になったと考える．なお， SAR の傾向がモードにより異なるのは，磁界分布の相違のために局所 SAR の最大値が出現する場所が異なり，人体の不均質性のためにその位置での導電率が異なることが挙げられる．

最後に，最悪のばく露条件である人体胸部とコイルの距離を 50mm とした場合に複数のモデルにおいて SAR を解析した結果を図 7 に示す．図 7 より，すべての人体モデルに対して，奇モードに比べ偶モードの局所ピーク SAR が大きくなっていることわかる．奇モードを基準とし，

$$\mathrm{Diff.} = \frac{\mathrm{SAR_{even}} - \mathrm{SAR_{odd}}}{\mathrm{SAR_{odd}}} \qquad (7)$$

を用いてモードによる差異を計算すると，モード間の差異は最大で 72.5%となった．これは，奇モードでは送受信コイルに同じ向きの電流，偶モードでは逆向きの電流が流れることにより，奇モードに比べ偶モードでは磁気結合コイル外側での電気力線が多いため結合が強く[5]，結果として磁界強度が強いため SAR が大きくなったと考える．また，成人モデルで

はほぼ同じ SAR が得られたことが確認できる一方,子供モデルにおける SAR は成人に比べて小さく，成人モデルの局所ピーク SAR は，奇モードにおいては最大で 102%，偶モードにおいては最大で 72%大きくなった．これは，先にも述べた通り，各人体モデルの断面積の大きさの差異に起因するものと考える．

3. 家電機器用ＷＰＴ②

図 8 に本研究で扱う携帯情報端末の電磁誘導型無線電力伝送システムで用いられる伝送コイルモデルを示す．コイルは，受信側，送信側ともに 1 個のスパイラルコイルから構成される．また，送信側と受信側のコイルにはそれぞれ整合用インピーダンスが配置されており，入力電力として 1W を送信側に給電する。

(a) (b)

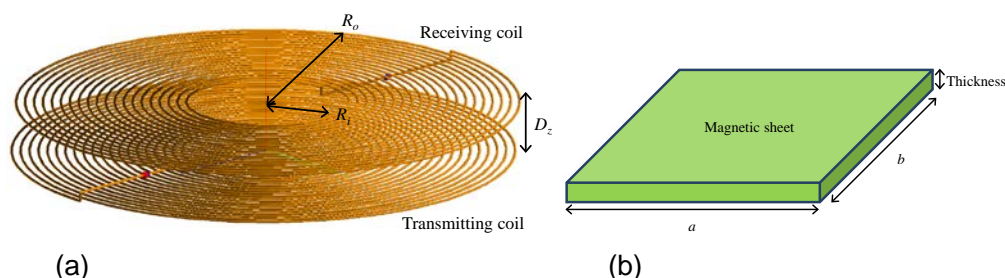



図 8. (a)伝送コイル(R_i =6mm, R_o =20mm, D_z =3.5mm, 20 turns)および(b)磁性体シート(50mm×50mm)の外観

磁性体シートの概形を示す．この磁性体シートは携帯情報端末の無線電力伝送システムを忠実に再現するため，図 8(a)の伝送コイルの上方および下方に挿入する．磁性体シートの比透磁率は 7000 とした．磁性シートの寸法は 50*50mm，厚さ 0.6mm である。本解析で用いる無線電力伝送システムは携帯情報端末の非接触充電をモデル化しているため，充電状態と待受状態の 2 つの状態が想定される．よって，磁界分布の導出及び電磁界の体内誘導量の解析では，下方の伝送コイルを充電器，上方の伝送コイルを携帯電話とし，充電状態と待受状態の両状態について検討を行う．

充電中、待受中の磁界分布の解析結果を図 9 に示す[5]。周波数には 140 kHz を用いた。図において、待受中における磁界分布は対称的であるのに対して、充電中の磁界分布にはばらつきの存在が確認できる。これは充電中における受信側の磁性シートによるものと考える。さらに充電中にくらべ待受中において磁界強度は大きくなることが確認できる。これは充電中では受信側により電力が吸収されるためだと考える。

不均質数値人体モデルに無線電力伝送システテを配置した場合の解析条件を図 10 に示す．また，送信コイルは，人体胸部表面より 10mm の位置に配置している．また，胸部におけるばく露位置は中心より±60mm ずつずらし解析を行った．コイルの周波数は 140kHz とし，入力電力は 1W としている．なお，ここでは示さないが，人体胸部付近に配置した方が，腕部配置した場合に比べて高い誘導電界となったことを付記する．

表 1 に人体モデルでの充電状態，待受状態の誘導電界および SAR を，充電状態，待受状態についてそれぞれ示す．表 1 より，充電状態における 10g 平均 SAR の最大値は 1.31nW/kg である．基本制限との割合を比較した場合，本周波数帯では誘導電界の方が支配的になることが確認できる．なお，全身平均 SAR は 2.89pW/kg であり，本指標の基本制限値 0.08W/kg と比較すると 3.61×10^{-11} 倍であった．これは，上記の 10g 平均 SAR の最大値をその基本制限値 2W/kg と比較した場合の 6.55×10^{-10} 倍を下回る結果である．よって全身平均 SAR に比べ 10g 平均 SAR がより制限的な指標であると考える．

加えて，上記シナリオにおいてカップリングファクターを算出した場合，給電中かつ伝送効率が高い場合に最大となり，0.2 であった．

表 1. 胸部表面における体内誘導電界. (a)充電状態, (b)待受状態

	Peak 10-g SAR[nW/kg]		Max. in-situ electric field [mV/m]	
	Charging	Waiting	Charging	Waiting
A	0.49	18.5	9.1	44.3
B	0.47	18.4	7.2	45.4
C	0.77	29.7	7.1	41.2
D	0.51	19.8	6.8	39.1
E	1.1	41.5	9.9	57.8
F	0.72	27.7	6.9	37.9
G	0.66	26.9	6.7	38.2
H	1.3	49.9	12.2	80.7
I	0.79	31.1	7.6	42.7

参考文献

(1) 市川真士, 森晃, 川久保淳史,“磁界共鳴型近距離無線電力伝送試験装置の開発 (3) ソレノイド型コイルを用いた kW 級システムにおける磁界特性”, 信学ソ大, B-1-27 (2013).

(2) I.Laakso, A. Hirata, and O. Fujiwara, Computational dosimetry for wireless charging of an electrical vehicle”, Proc. International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Tokyo, (2014).

(3) I.Laakso and A. Hirata, “Evaluation of induced electric field and compliance procedure for wireless power transfer system in an electrical vehicle”, Phys. Med. Biol., Vol.58, pp.7583-7593, (2013).

(4) 土田昌吾, ラークソイルッカ, 平田晃正, “磁気共鳴型無線電力伝送に対する高速人体数値ドシメトリ解析,” 電子情報通信学会和文論文誌(C), vol.J96-C, no.6, pp.122-130, 2013.

(5) 春原哲, 平田晃正, 大西輝夫, “電磁誘導型無線電力伝送に伴う電磁界による体内誘導量解析,” 電子情報通信学会 EMCJ/EST 研究会, EST2013-47, 2013 年 10 月.